



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
División de Ciencias e Ingenierías

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE
EN INTERIORES POR PM₁₀**

**TESIS RECEPCIONAL
Para obtener el grado de**

Ingeniero Ambiental

**PRESENTA
Arminda Mariana Arjona Pérez**

**DIRECTOR DE TESIS
Biol. Laura Patricia Flores Castillo**

Chetumal, Quintana Roo; Noviembre 2006

Dedicado

Gracias a Dios por darme la fortaleza y el crecimiento día a día como persona...

A mis padres, M.C. Manuel J. Arjona Barrera y Sra. Arminda M. Pérez Lugo, por enseñarme que la familia es indestructible y por ser grandes ejemplos de vida, los admiro y respeto... los Amo papas, gracias por todo...

A mis hermanos, Manuel, Lilibet y Valentina, por ser el mejor regalo que mis padres me pudieron dar, gracias...

Agradecimiento

A la Secretaria de Salud, por todo el apoyo y facilidades brindadas para la realización de este trabajo, al Hospital General de Chetumal, Quintana Roo en especial al Dr. Pedro Ortiz Zolozabal, al Hospital Materno Infantil Morelos en especial al Dr. Santiago Alvarado y Pérez por todo su apoyo incondicional y todas las facilidades brindadas muchísimas gracias, que sin este apoyo no se hubiera logrado este objetivo.

A la Universidad de Quintan Roo, por darme el apoyo de las instalaciones para la elaboración de este trabajo.

A la Dirección de la División de Ciencias e Ingenierías por el apoyo otorgado para la impresión y encuadernación de este trabajo.

Al Teniente Litz Neguib de Guadalupe Medina Córdova Fuerza Aérea Mexicana, Dirección del Servicio Meteorológico por el tiempo que se tomo, y la disponibilidad que tuvo conmigo para la contribución de este trabajo.

A mis maestros que les tengo un gran cariño, respeto y admiración, Juan Carlos Ávila Reveles, Laura Patricia Flores Castillo, José Luís Guevara Franco, José Luís González Bucio, Manuel Carrión, Benito Prezas Hernández, Alberto Pereira Corona, Víctor Hugo Delgado Blas, Juan Antonio Rodríguez Garza, Norma Angélica Oropeza, a todos por estar a lo largo de mi carrera, me llevo de cada uno de ustedes una gran experiencia... gracias.

Al M.C. Juan Carlos Ávila Reveles por su incondicional apoyo y por siempre escucharme y aconsejarme, gracias maestro no tengo palabras para agradecerle...

Al maestro I.Q. José Luís Guevara Franco y la Biol. Laura Patricia Flores Castillo, por todos sus consejos y enseñanza, gracias por ser como son...

Al maestro M.C. Benito Prezas Hernández y colaboradores Hugo Hay González y Br. Adrián Guzmán Rangel, por el apoyo logístico para la realización de este trabajo.

A Jorge Iván Pastrana Conrado, por brindarme todo el apoyo, cariño, comprensión y tenerme paciencia en este objetivo, y estar conmigo en todo momento...

Y a todas las personas que estuvieron a lo largo de mi trayecto universitario, mil gracias, no tengo palabras para expresarles todo el apoyo y aprendizaje que tuve con ustedes.

Reflexión

"La inteligencia no consiste sólo en el conocimiento, sino también en la destreza para aplicar los conocimientos a la práctica" (Aristóteles)

CONTENIDO

| Índice | Pg. |
|--|------------|
| Dedicatoria | i |
| Agradecimientos | ii |
| Índice | iv |
| | |
| Capítulo 1. Introducción | |
| 1.1. Marco Teórico | 1 |
| 1.2. Alcance | 3 |
| 1.3. Objetivos | 3 |
| 1.3.1. Objetivo General | 3 |
| 1.3.2. Objetivos Particulares | 3 |
| | |
| Capítulo 2. Antecedentes | |
| 2.1. Primeros casos graves de contaminación del aire | 4 |
| 2.2. Marco Legal en Materia Ambiental en México | 8 |
| 2.3. La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos | 8 |
| 2.4. Ley General de Equilibrio Ecológico | 8 |
| 2.5. Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico | 9 |
| 2.6. Normas Oficiales Mexicanas y Límites Máximos Permisibles en Materia de Contaminación Atmosférica | 10 |
| 2.7. Reglamento General de Seguridad e Higiene | 11 |
| 2.8. Ley General a la Salud | 11 |
| | |
| Capítulo 3. Contaminación Atmosférica | |
| 3.1. Contaminación Atmosférica | 12 |
| 3.2. Principales Contaminantes Atmosféricos y Efectos a la Salud | 14 |
| 3.2.1. Monóxido de Carbono (CO) | 15 |
| 3.2.2. Óxidos de Azufre (SO _x) | 15 |
| 3.2.3. Óxidos de Nitrógeno (NO _x) | 16 |
| 3.2.4. Ozono (O ₃) | 16 |
| 3.2.5. Material Particulado | 17 |
| 3.3. Contaminantes Peligrosos del Aire (CPA) “PRIORITARIOS” | 18 |

Capítulo 4. Partículas

| | |
|--|----|
| 4.1. Tamaño y forma | 21 |
| 4.1.1. Clasificación según sus fuentes | 24 |
| 4.1.2. Composición | 24 |
| 4.2. Partículas sólidas totales (PST) | 25 |
| 4.3. Métodos de Medición: Monitoreo de Partículas Sólidas Totales | 26 |
| 4.4. Partículas Menores a 10 Micras (PM ₁₀) y su Comportamiento en el Sistema Respiratorio | 28 |

Capítulo 5. Contaminación en Interiores

| | |
|--|----|
| 5.1. Principales contaminantes y fuentes | 36 |
| 5.2. Sistemas de aires acondicionados | 37 |
| 5.2.1. Métodos de eliminación de polvo | 40 |
| 5.2.2. Métodos de pruebas de filtros | 40 |
| 5.2.3. Tipos de limpiadores de aire | 42 |
| 5.3. Selección de limpiadores de aire | 44 |
| 5.3.1. Diferencias de los 3 diferentes tipos de Sistemas de Aires Acondicionados | 45 |

Capítulo 6. Descripción del área de estudio

| | |
|---------------------------------|----|
| 6.1. Marco Histórico Geográfico | 47 |
| 6.1.1. Ubicación | 47 |
| 6.1.2. Hidrografía | 47 |
| 6.1.3. Orografía | 48 |
| 6.1.4. Flora | 49 |
| 6.1.5. Clima | 49 |
| 6.2. Sector Social | 51 |
| 6.2.1. Salud | 51 |

Capítulo 7. Método

| | |
|-----------------------------|----|
| 7.1. Método | 54 |
| 7.2. Material | 55 |
| 7.3. Ubicación del muestreo | 55 |
| 7.4. Cálculos | 58 |

| | |
|--|----|
| Capítulo 8. Resultados | 63 |
| Capítulo 9. Conclusiones | 74 |
| Capítulo 10. Recomendaciones | 76 |
| Referencia Citada y Consultada | 77 |
| Webgrafía | 79 |
| Anexos | 81 |
| Anexo 1. Croquis Hospital General Chetumal Quintana Roo, ubicación 1 del monitoreo PM ₁₀ | 83 |
| Anexo 2. Croquis Hospital Materno Infantil Morelos, ubicación 2 del monitoreo PM ₁₀ | 84 |
| Anexo 3. Croquis Universidad de Quintana Roo, ubicación 3 del monitoreo PM ₁₀ | 85 |
| Glosario | 87 |

Capítulo 1. Introducción

1.1. Marco Teórico

La atmósfera es esencial para la vida por lo que sus alteraciones tienen una gran repercusión en el hombre y otros seres vivos y, en general, en todo el planeta. Es un medio extraordinariamente complejo y la situación se hace todavía más complicada y difícil de estudiar cuando se le añaden emisiones de origen humano en gran cantidad, como está sucediendo en estas últimas décadas. (Hernández, 2004).

La contaminación del aire forma parte de la vida moderna, no se acaba al cerrar la puerta del automóvil, de la oficina, de la escuela, o de las ventanas y puertas de domicilio familiar. A veces, los contaminantes penetran desde el exterior, y ocasionalmente, los materiales tóxicos que se generan en el interior de los espacios cerrados no se diluyen con aire más limpio del exterior. (Hernández, 2004).

Existe una problemática y es que cada vez se construyen más edificios herméticos en el cual se reduce el volumen de aire de ventilación, utilizando productos y materiales para aislar, perdiendo gradualmente el control del ambiente. (Hernández, 2004).

Debido que la mayoría de la población entre un 80 y 90% laboran en lugares herméticos (cerrados) y también cuando se carece de un sistema de aire controlado, la contaminación es mayor debido a una concentración mayor de partículas y es necesario que el sistema de acondicionamiento fuera eficaz y

rentable, siendo así, tendríamos que controlar el aire que entra a los edificios desde el exterior. (Hernández, 2004).

Varios tipos de contaminantes tienen el efecto potencial de dañar a la salud de las poblaciones. Estos contaminantes son el resultado ya sea de emisiones primarias o contaminantes atmosféricos.

La calidad del aire se evalúa considerando los siguientes contaminantes criterio: óxidos de azufre, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, hidrocarburos, aerosoles, ozono, anhídrido carbónico, y partículas.

Partícula; es un término que se emplea para describir las materias sólidas y líquidas, dispersas y arrastradas por el aire, mayores que las moléculas individuales, encontradas de 0.0002 μm pero menores de 500 μm de diámetro. Las partículas en este rango de tamaño tienen una vida media en suspensión que varía desde unos cuantos segundos hasta varios meses. (Wark y Warner, 1992).

Las partículas menores a 10 micras PM_{10} , son un indicador de contaminación atmosférica y representa las partículas cuyo diámetro aerodinámico es menor o igual a 10 micrómetros; partículas sólidas o líquidas, como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen dispersos en la atmósfera.

(Wark y Warner, 1992).

Debido a las condiciones climáticas de Chetumal, Quintana Roo; se hace necesario contar con Sistemas de Aires Acondicionados para tener un confort térmico, que en su mayoría tienen un mantenimiento deficiente, incrementando las concentraciones de contaminantes en interiores lo cual puede ser un problema muy fuerte en interiores de instalaciones públicas como Hospitales; puesto que la mayoría del personal y la gente que está ingresada se mantiene o encuentra por tiempos o lapsos largos; que ocasiona mayores tiempos de exposición de

partículas. Estas partículas al organismo humano y puede ser de diferentes grupos vulnerables como: niños (menores de 5 años), tercera edad (mayores de 65 años), ancianos, mujeres embarazadas, enfermos del corazón, personas con patología pulmonar y bronquial, fumadores y en general el bienestar de las personas.

1.2. Alcance

El alcance de este trabajo, es determinar la concentración de PM_{10} en interiores, comparar los resultados con la norma vigente NOM-025-SSA1-1993, publicada por el Diario Oficial de la Federación con modificación el 26 de septiembre del 2005, en la ciudad de Chetumal Quintana Roo, con 3 diferentes ubicaciones, Hospital Materno Infantil Morelos sala de Rayos "X", Hospital General Chetumal Quintana Roo sala de Hospitalización y la Universidad de Quintana Roo edificio rectoría planta baja.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Determinar la contaminación atmosférica por PM_{10} en interiores de oficinas y hospitales.

1.3.2. Objetivos Particulares

- Determinar la concentración de contaminación de PM_{10} en interiores, localizado en tres puntos diferentes de la ciudad Chetumal Quintana Roo: Hospital General Chetumal Quintana Roo sala de hospitalización, Hospital Materno Infantil Morelos sala de rayos "X" y la Universidad de Quintana Roo edificio rectoría planta baja.
- Comparación de Resultados en PM_{10} obtenidos con la normatividad vigente, NOM-025-SSA1-1993 publicada por el Diario Oficial de la Federación con modificación el 26 de septiembre del 2005.

Capítulo 2. Antecedentes

2.1. Primeros Casos Graves de Contaminación del Aire

La contaminación del aire no es un fenómeno reciente; desde 1272 se observó una limitada contaminación. La contaminación del aire ha sido un problema de salud pública desde el descubrimiento del fuego. En la antigüedad, las personas encendían fogatas en sus cuevas y cabañas y frecuentemente contaminaban el aire con humo nocivo. El filósofo romano Séneca escribió sobre el “aire cargado de Roma” en el año 61 A.C. y en el siglo XI se prohibió la quema de carbón en Londres. (Albert, 1994).

El origen de nuestros problemas modernos de contaminación del aire puede remontarse a la Inglaterra del siglo XVIII y al nacimiento de la revolución industrial. La industrialización comenzó a reemplazar las actividades agrícolas y las poblaciones se desplazaron del campo a la ciudad. Las fábricas para producir requerían energía mediante la quema de combustibles fósiles, tales como el carbón y el petróleo.

El principal problema de contaminación del aire a fines del siglo XIX e inicios del XX fue el humo y ceniza producidos por la quema de combustibles, la situación empeoró con el creciente uso del automóvil. Con el tiempo, se presentaron episodios importantes de salud pública a causa de la contaminación del aire en ciudades como Londres, Inglaterra y Los Ángeles, en los Estados Unidos. (Albert, 1994).

Episodios graves de contaminación del aire más famosos:

| Año | Caso | Condiciones meteorológicas | Afectación |
|----------------|---|----------------------------|----------------------------|
| 1873 | Londres | Niebla | 268 muertes por bronquitis |
| Enero 1931 | Manchester y Salford Inglaterra | 9 días de niebla | 592 muertos |
| 1948 | Donora, Pennsylvania pueblo con plantas químicas y acería | 4 días de niebla | 20 muertos 7000 enfermos |
| Diciembre 1952 | Londres | 4 días de niebla | 4,000 muertos |
| Enero 1956 | Londres | Niebla | 1,000 muertos |
| 1984 | Bhopal, India liberación de isocianato de metilo de una planta de plaguicidas | ---- | 2,500 muertos |
| 1976 | Seveso Italia fuga de dioxina | ---- | ---- |
| 1963 | Dupart India , Fuga de dioxina | ---- | ---- |
| 1991 | Córdoba Veracruz, Explosión y fuga de agroquímicos | ---- | ---- |

Fuente: Wark y Warner, 1992.

Se han realizado varios proyectos en lo que respecta a contaminación atmosférica en interiores y exteriores en México:

Existe un programa en Tamaulipas que es la Red Estatal de Monitoreo Atmosférico (Rema) de Tamaulipas realiza la cuantificación de partículas suspendidas menores a 10 micras.

[www.http://200.23.59.12/sedue/des_sustentable/monitoreo/monitoreo.htm](http://200.23.59.12/sedue/des_sustentable/monitoreo/monitoreo.htm). 16 octubre de 2006 4:43 hrs.

La norma NOM-025-SSA1-1993 con modificación el día 26 de septiembre del 2005, hace mención a los siguientes estudios; trabajos realizados en la Ciudad de México sobre daños a la salud ocasionados por partículas suspendidas, reportan incremento en los índices de mortalidad, semejantes a estudios en ciudades de Europa y Estados Unidos de América. Un estudio relacionado con la contaminación por PST indica que el riesgo a morir aumenta en un 6% por cada 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de incremento de PST.

Otro estudio en personas mayores de 65 años reportó un incremento de 1.6% en las muertes diarias por cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de aumento en las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$. En un estudio donde se analizaron daños provocados por partículas gruesas (PM_{10} - $\text{PM}_{2.5}$), se encontró que por cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de incremento de este contaminante se asoció un aumento de 4% de las muertes totales diarias.

(NOM-025-SSA1-1993, D.O.F., 26 septiembre 2005).

Por último, un estudio para analizar la asociación entre $\text{PM}_{2.5}$ y la mortalidad infantil (menores de 1 año de edad) mostró un aumento de la mortalidad total de 6.9% por cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del contaminante. Un estudio realizado en adultos mayores de 65 años de la ciudad de México, encontró que con un incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. **(NOM-025-SSA1-1993, D.O.F. 26 septiembre 2005).**

De PM₁₀ estuvo relacionado con 2.9% de incremento en la mortalidad cuando las personas eran atendidas en una unidad médica en comparación con 4.1% cuando no lo eran, con valores rezagados de 3 días. En todos estos estudios los efectos más importantes se observan de 3 a 5 días después de la exposición.

Un estudio realizado en la Ciudad de México para determinar los índices de morbilidad, demostró que el incremento de 20 µg/m³ de PM₁₀ aumentó en 8% la sintomatología de vías respiratorias bajas en niños asmáticos de 5 a 13 años. La asociación entre contaminantes del aire y la función respiratoria de niños en edad escolar, determina que el efecto combinado de 7 días de exposición a 17µg/m³ de PM_{2.5} y 25 ppb de O₃ predice una disminución de 7.1% en el valor de flujo respiratorio máximo matutino de los niños. (NOM-025-SSA1-1993, D.O.F. 26 septiembre 2005).

Brauer, describe otro estudio efectuado en mediciones de PM_{2.5}, tanto en el interior como exterior de viviendas, en ocho cocinas empleaban sólo carbón o leña, hallando que las mujeres pasan más del 60% de su tiempo dentro de la vivienda y la mayor parte en la cocina. El nivel de PM_{2.5} fue mayor cuando se emplea carbón o leña y menor cuando se emplea LPG como combustible y la concentración de particulado en el exterior es menor que todas las halladas en los interiores. (Brauer *et.al.*, 1996).

Otro estudio, con personas que nunca fumaron y que estuvieron expuestas al humo de la leña y otras que no estuvieron expuestas al humo de la leña, efectuado en el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER) de México, halló que el riesgo de desarrollar bronquitis crónica y enfisema en mujeres expuestas al humo de leña, es 5 veces mayor que en las no expuestas y éste se incrementa con la dosis. Los niveles promedio de PM₁₀ dentro de las cocinas superaban frecuentemente los 1.000 µm/m³, de acuerdo a las mediciones realizadas en una

comunidad rural del Estado de México, representando dicha exposición, un problema de salud pública. (Pérez, 2001).

2.2. Marco Legal en Materia Ambiental en México

En México, existe un Marco Legal en Materia Ambiental; Artículo 73º en la Fracción XVI, que se refiere a la Prevención y al Control de la Contaminación Ambiental; y el Artículo 4º, Que se refiere al Derecho Fundamental de Protección a la Salud.

2.3. La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

El marco normativo que conforma el derecho ambiental en México tiene como origen básico la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. En el Artículo 4º se maneja el concepto “El Derecho a un Medio Ambiente Sano” según la modificación de ley hecha el 3 de febrero de 1993 en el Diario Oficial de la Federación.

2.4. Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

La Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, publicada en el Diario Oficial de la Federación del 28 de enero de 1988 y modificada el 13 de diciembre de 1996; en el Título Primero, capítulo I, Artículo 1º, Garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar; capítulo VI, La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo.

El Capítulo II. De la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera se encuentran, Artículo 110º. Para la protección a la atmósfera, Artículo 111º. Para controlar, reducir o evitar la contaminación de la atmósfera, Artículo 111º Bis. Para la operación y funcionamiento de las fuentes fijas de jurisdicción federal que emitan o puedan emitir olores, gases o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera.

2.5. Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica

Por medio del Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica publicado en el Diario Oficial de la Federación el 25 de noviembre de 1988, describe en su Artículo 7º emitir dictamen técnico sobre los sistemas de monitoreo de la calidad del aire a cargo de los Estados y Municipios. Del Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica generada por fuentes fijas Artículo 16º menciona “que las emisiones de olores, gases, así como de partículas sólidas y líquidas a la atmósfera que se generen por fuentes fijas, no deberán exceder los niveles máximos permisibles de emisión e inmisión, por contaminantes y por fuentes de contaminación que se establezcan en las normas técnicas ecológicas que para tal efecto expida la Secretaría en coordinación con la Secretaría de Salud, con base en la determinación de los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente”. Como el Artículo 28º que se refiere a La Emisión de Contaminantes a la Atmósfera Generada Por Fuentes Móviles, con respecto a partículas, describe “Las emisiones de olores, gases, así como de partículas sólidas y líquidas a la atmósfera que se generen por fuentes móviles, no deberán exceder los niveles máximos permisibles de emisión que se establezcan en las normas técnicas ecológicas que expida la Secretaría en coordinación con la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial y de Energía, Minas e Industria Paraestatal, tomando en cuenta los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente determinados por la Secretaría de Salud.”

2.6. Normas Oficiales Mexicanas y Límites Máximos Permisibles en Materia a Contaminación Atmosférica

NOM-025-SSA1-1993

La Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993, de Salud ambiental establece Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a material particulado. Valor de concentración máxima de material particulado para partículas suspendidas totales PST valor máximo permisible ($210 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 24 horas 1 vez al año), partículas menores de 10 micrómetros PM_{10} valor máximo permisible ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 24 horas 1 vez al año) y partículas menores de 2.5 micrómetros $\text{PM}_{2.5}$ valor máximo permisible ($65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio de 24 horas 1 vez al año) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población. (NOM-025-SSA1-1993, D.O.F. 26 de septiembre 2005).

Esta Norma Oficial Mexicana es aplicable en todo el territorio nacional, los valores que se establecen deben ser considerados como referencias para que dependencias, organismos e instituciones en sus respectivos ámbitos de competencia los apliquen en las acciones de prevención de la salud humana y control de la contaminación ambiental.

NOM-035-ECOL-1993

La Norma Oficial Mexicana NOM-035-ECOL-1993, establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición. Esta norma se basa en el muestreador de HI -VOL "Altos volúmenes". (D.O.F., 18 octubre 1993).

2.7. Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo

El Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social título tercero condiciones de higiene, Capítulo Octavo, artículos 99º y 100º sobre ventilación describe “Los centros de trabajo deberán contar con ventilación natural o artificial y la calidad adecuada”, de acuerdo a las Normas correspondientes. En los lugares en donde por los procesos y operaciones que se realicen, existan condiciones o contaminación ambiental capaces de alterar la salud de los trabajadores, será responsabilidad del patrón efectuar el reconocimiento, evaluación y control de éstos, tomando en cuenta la ventilación natural o artificial adecuada, y la calidad y volumen del aire, de conformidad a la Norma correspondiente. Así como, “En los centros de trabajo en donde por las características de los procesos y operaciones que se realicen, se establezcan sistemas de ventilación artificial, el patrón implantará un programa de verificación y de mantenimiento preventivo y correctivo de los mismos, de conformidad con la norma aplicable.”

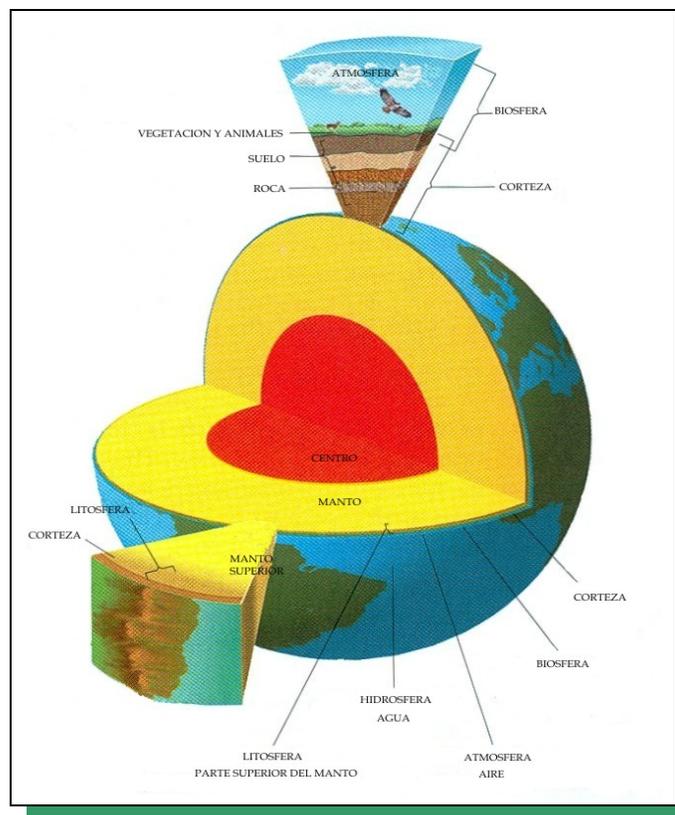
2.8. Ley General de Salud

La Ley General de Salud Publicada el 7 febrero de 1984 y modificada en junio 14 de 1991 (D.O.F), Capítulo IV, Efectos del Ambiente en la Salud, Artículo 116º, 117º, 118º, 119º I; contempla el establecimiento de normas, medidas y actividades tendientes a la protección a la salud humana ante los riesgos y daños que representa el deterioro ambiental; así como la determinación de valores de concentración máxima de los contaminantes en el ambiente para el ser humano.

Capítulo 3. Contaminación Atmosférica

La atmósfera esta constituida por varias capas de aire. Las de mayor importancia se llaman troposfera o biosfera por ser donde vivimos. La troposfera es la capa delgada de aire relativamente denso más cercana a la superficie de la tierra. La troposfera o biosfera contiene el aire que todos los seres vivos necesitan para respirar. (Albert, 1994).

Capas atmosféricas



Fuente: Miller / Environmental science 2002.

En teoría, el aire siempre ha tenido cierto grado de contaminación. Los fenómenos naturales como la erupción de volcanes, tormentas de viento, descomposición de

plantas y animales e incluso los aerosoles emitidos por los océanos “contaminan” el aire. (Albert, 1994).

La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente artículo 3º, define como contaminación “A la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico”. (LGEEPA, 2005).

La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente artículo 3º, define como contaminante: “Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural”. (LGEEPA, 2005).

Contaminante, sustancia que a cierta concentración produce un efecto perjudicial en el ambiente. Estos pueden alterar tanto la salud como el bienestar de las personas. (Albert, 1994).

La contaminación del aire, se puede definir como la presencia en la atmósfera exterior de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que sean o puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas, o de la propiedad, que interfiera el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades. (Wark y Warner, 1992).

Se pueden clasificar a los contaminantes del aire como primarios o secundarios.

Contaminante primario: es aquél que se emite a la atmósfera directamente de la fuente y mantiene la misma forma química (p.e. cenizas de la quema de residuos sólidos).

Contaminante secundario: es aquel que experimenta un cambio químico cuando llega a la atmósfera (p.e. el ozono que se produce cuando los vapores orgánicos reaccionan con los óxidos de nitrógeno en presencia de luz solar).

3.2. Principales Contaminantes Atmosféricos y Efectos a la Salud

Los contaminantes del aire también se han clasificado como contaminantes criterio y contaminantes no criterio. Se les llamó contaminantes criterio porque fueron objeto de evaluaciones publicadas en documentos de calidad del aire en los Estados Unidos (EU), con el objetivo de establecer niveles permisibles que protegieran la salud, el medio ambiente y el bienestar de la población.

Los contaminantes criterio, se han identificado como comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos. Los contaminantes criterio en México y los Límites Máximos Permisibles en exposición se describe en la siguiente tabla son:

| CONTAMINANTE | VALORES LÍMITE | | |
|--|-------------------------------------|-----------------------------|--|
| | Exposición aguda | Exposición crónica | |
| | Concentración/ tiempo promedio | Frecuencia máxima aceptable | Para proteger la salud de la población susceptible |
| Ozono (O ₃) | 0.11 ppm (1 hora) | 1 vez en 3 años | — |
| Bióxido de azufre (SO ₂) | 0.13 ppm (24 horas) | 1 vez al año | 0.03 ppm * |
| Bióxido de nitrógeno (NO ₂) | 0.21 ppm (1 hora) | 1 vez al año | — |
| Monóxido de carbono (CO) | 11 ppm (8 horas) | 1 vez al año | — |
| Partículas suspendidas totales (PST) | 210 µg/m ³ | 1 vez al año | 75 µg/m ³ * |
| Partículas, fracción respirable (PM ₁₀) | 120 µg/m ³ (24 horas) | 1 vez al año | 50 µg/m ³ * |
| Partículas, fracción respirable (PM _{2.5}) | 65 µg/m ³ (24 horas) | 1 vez al año | 15 µg/m ³ * |
| Plomo (Pb) | — | — | 1.5 µg/m ³ ** |

* Promedio aritmético anual
 ** Promedio aritmético en tres meses
 Fuente: NOM-020-SSA1-1993; NOM-021-SSA1-1993; NOM-022-SSA1-1993; NOM-023-SSA1-1993; NOM-024-SSA1-1993; NOM-025-SSA1-1993; NOM-026-SSA1-1993

3.2.1. Monóxido de carbono (CO)

Es un gas incoloro e inodoro. Es muy estable y tiene una vida media en la atmósfera de 2 a 4 meses. En la naturaleza se forma mediante la oxidación del metano, que es un gas común producido por la descomposición de materia orgánica.

Efectos del Monóxido de carbono en la salud. Existen muchos estudios que demuestran que las altas concentraciones de monóxido de carbono pueden causar cambios fisiológicos y patológicos y finalmente, la muerte. El monóxido de carbono es un veneno que inhalado priva a los tejidos del cuerpo del oxígeno necesario. El monóxido de carbono puede causar la muerte cuando se encuentra expuesto a una alta concentración (> 750 ppm). La combinación del monóxido de carbono conduce a la formación de la carboxihemoglobina COHb; la combinación del oxígeno y la hemoglobina produce la oxihemoglobina, O_2 Hb. Por tanto, la cantidad de COHb es una función de la concentración de CO en el aire respirado. Afortunadamente, la formación del COHb en el torrente sanguíneo es un proceso reversible. Cuando cesa la exposición, el CO que se combinó con la hemoglobina es liberado espontáneamente, y la sangre queda libre de la mitad de su monóxido de carbono, en pacientes saludables en un período de 3 a 4 horas. La exposición al monóxido de carbono puede exacerbar las enfermedades del corazón y del pulmón. El peligro es más evidente en neonatos, neonatos, ancianos y en quienes sufren de enfermedades crónicas. (Wark y Warner, 1992).

3.2.2. Óxidos de azufre (SO_x)

El SO_2 es un gas incoloro, no flamable y no explosivo que produce una sensación gustatoria a concentraciones de 0.3 a 1.0 ppm en el aire. A concentraciones mayores de 3.0 ppm, el gas tiene un olor acre e irritante. El dióxido de azufre se convierte parcialmente a trióxido de azufre o ácido sulfúrico y a sus sales mediante procesos fotoquímicos o catalíticos en la atmósfera. El trióxido de azufre forma ácido

sulfúrico con la humedad del aire. Los óxidos de azufre en combinación con las partículas y la humedad del aire producen los efectos más perjudiciales atribuidos a la contaminación atmosférica del aire.

Efectos del óxido de azufre sobre la salud. Los óxidos de azufre perjudican el sistema respiratorio, especialmente de las personas que sufren de asma y bronquitis crónica. Los efectos de los óxidos de azufre empeoran cuando el dióxido de azufre se combina con partículas o humedad del aire. Esto se conoce como efecto sinérgico porque la combinación de sustancias produce un efecto mayor que la suma individual del efecto de cada sustancia. (Wark y Warner, 1992).

3.2.3. Óxidos de nitrógeno (NO_x)

De los seis o siete óxidos de nitrógeno, el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno son importantes contaminantes del aire. A pesar de que el NO₂ está por lo general presente en la baja atmósfera (formado por acción biológica en la superficie del terreno) no se considera como contaminante del aire.

Efectos del óxido de nitrógeno sobre la salud. El dióxido de nitrógeno absorbe luz visible y a una concentración de 0.25 ppm causará apreciable reducción de la visibilidad. El dióxido de nitrógeno actúa como fuerte irritante y a iguales concentraciones es más dañino que el NO. Sin embargo, a concentraciones encontradas en la atmósfera el NO₂ es sólo potencialmente irritante y potencialmente relacionado con la fibrosis pulmonar crónica. (Wark y Warner, 1992).

3.2.4. Ozono (O₃)

Es considerado como un contaminante criterio y secundario. Se forma mediante una serie compleja de reacciones en la atmósfera. Se forma mediante la reacción química del dióxido de nitrógeno (NO₂) y compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de la luz solar.

La concentración de ozono en una determinada localidad depende de muchos factores, incluida la concentración de NO₂ y COV en el área, la intensidad de la luz solar y las condiciones del clima. El ozono es el principal componente del smog fotoquímico o niebla fotoquímica y causa efectos nocivos en seres humanos y plantas. La población de mayor riesgo a la contaminación por ozono son los enfermos y ancianos, así como los neonatos y nonatos. Además, cuando se le compara con los otros contaminantes criterios, es el que más daña a las plantas.

Efectos del Ozono a la salud. Los efectos de una exposición prolongada a concentraciones elevadas de ozono van desde incremento de la sensibilidad de las vías aéreas, tos y dolor de cabeza, hasta el incremento en la frecuencia respiratoria, disminución de la resistencia de las vías aéreas y disminución de la función pulmonar.

El ozono tiene la singularidad de que es también beneficioso para los seres humanos y otros seres vivientes. Es un componente necesario de la estratosfera (una capa elevada de la atmósfera que protege la capa inferior de la atmósfera o troposfera), porque sirve para proteger a la tierra de la nociva radiación ultravioleta del sol. Sin embargo, cuando se encuentra en concentraciones altas en la capa inferior de la atmósfera, se le considera un contaminante. (Albert, 1994).

3.2.5. Material particulado

Se forma por muchos procesos, tales como el viento, polinización de plantas e incendios forestales, aunque su efecto se ve incrementado por actividades humanas que implican el cambio de uso de suelo. Las principales fuentes antropogénicas de pequeñas partículas incluyen la quema de combustibles sólidos como la madera y el carbón, las actividades agrícolas como la fertilización y almacenamiento de granos y la industria de la construcción.

Las PST son las partículas sólidas o líquidas del aire, donde se incluyen contaminantes primarios como el polvo y hollín y contaminantes secundarios como partículas líquidas producidas por la condensación de vapores. En los últimos se han especificado normas sobre el material particulado con menos de 10 micrómetros de diámetro aerodinámico (PM₁₀) y además al material particulado con menos de 2.5 micrómetros de diámetro aerodinámico (PM_{2.5}). Estas partículas son comúnmente referidas como PM₁₀ y PM_{2.5}, respectivamente. La razón fundamental de esta especificación se debe a que las partículas más pequeñas son más peligrosas para la salud de los seres humanos porque son capaces de alcanzar la zona inferior de los pulmones.

Efectos de Material Particulado en la salud. El material particulado puede tener efectos en la salud y bienestar del hombre. Puede contribuir a aumentar las enfermedades respiratorias como la bronquitis y exacerbar los efectos de otras enfermedades cardiovasculares y en general disminuir la esperanza de vida de adultos mayores y enfermos. Asimismo, afecta la visibilidad y velocidad de deterioro de muchos materiales hechos por el hombre. (Albert, 1994).

3.3. Contaminantes Peligrosos del Aire (CPA) “PRIORITARIOS”

Los contaminantes peligrosos son, compuestos cancerígenos y no cancerígenos que pueden causar efectos serios e irreversibles en la salud. La Ley del Aire Limpio de 1990 de los Estados Unidos enumeró 189 compuestos como contaminantes peligrosos del aire (CPA) “PRIORITARIOS”, incluidos el tetracloruro de carbono, cloro, óxido de etileno, cadmio y manganeso; en los que se encuentran en estado sólido y la composición pueden ser partículas PM₁₀; como: la acetamida, acetofenona, archilamida, asbestos, bencidina, caprolactama, captan, carbarilo, catecol, ácido cloroacético, clorobencilato, DDE, uretano, lindano, naftaleno, fenol, fósforo, propoxur, quinona, trifularina, etc.

La mayoría de los CPA “PRIORITARIOS” son compuestos orgánicos volátiles.

Estados Unidos ha fijado normas de emisión basadas en la salud solo para ocho contaminantes:

- Asbesto,
- Cloruro de vinilo,
- Benceno,
- Arsénico,
- Berilio,
- Mercurio,
- Radón y
- Radionucleicos diferentes del radón. (Albert, 1994.)

Asbesto: Produce cáncer en el hombre. Lamentablemente, su resistencia al fuego favoreció su empleo en numerosos materiales, tales como aislantes, pinturas, recubrimiento de freno e incluso ropa.

Cloruro de vinilo: Se usa en la producción de plásticos y cloruro de polivinilo (PVC). La exposición al cloruro de vinilo puede dañar el hígado y otros órganos.

Benceno: Es un compuesto cancerígeno usado en agentes desgrasantes, gasolina y solventes. Se ha promulgado varias normas para controlar la emisión de benceno, incluidas las normas para la fuga de benceno en equipos, para contenedores de benceno y operaciones de transporte de benceno y operaciones de transporte y disposición de desechos de benceno, y para plantas de recuperación de subproductos del coque.

Arsénico: Es un agente cancerígeno. Se emplea en la fabricación de vidrio y en la fundición de metales. Las normas de emisión se establecieron para controlar la

emisión de arsénico de las plantas de fabricación de vidrio, fundiciones de metales e instalaciones para la producción de arsénico.

Berilio: El berilio puede causar enfermedades del pulmón y también tiene efectos adversos sobre el hígado, bazo, riñones y glándulas linfáticas. Las fuentes de berilio incluyen las fundiciones de metal, plantas de cerámica e incineradores que queman desechos con berilio.

Mercurio: El mercurio puede tener efectos adversos sobre el cerebro y riñones. Las fuentes de mercurio incluyen la quema de combustibles fósiles, plantas de fabricación de baterías de mercurio y procesos de minería que emplean mercurio.

Radón: El radón es un elemento radiactivo natural. También se encuentra en materiales de construcción que contienen sustancias que emite radón, como el yeso. Se sabe que el radón causa diversas formas de cáncer y es un contaminante importante del aire de interiores. Hasta ahora, se han establecido normas para controlar la emisión de radón en las minas subterráneas de uranio, canteras de yeso fosfórico y relaves de la mina y procesos de uranio.

Radionucleicos: Los radionucleicos son una categoría de materiales radiactivos del radón. Un radionucleico es cualquier núclido que emite radiación. Así como el radón, estos materiales pueden causar cáncer en los seres humanos. (Albert, 1994.).

Capítulo 4. Partículas

De la masa total de contaminantes del aire estimada para 1973, por ejemplo, aproximadamente el 9 % estaba en forma de partículas. La materia particulada producida por fuentes incluye la sal de los océanos, cenizas volcánicas, productos de la erosión por el viento, polvo de las carreteras, desechos de incendios forestales, el polen y las semillas de plantas. (Wark y Warner, 1992)

4.1. Tamaño y forma

Los contaminantes atmosféricos que no están en forma de gas se denominan con el nombre genérico de partículas. Comprenden compuestos químicos en forma sólida o de gotitas líquidas.

En contaminación tienen gran interés dos de sus propiedades según su nomenclatura: tamaño, y forma.

Tamaño

Por su tamaño, las partículas en el aire, se clasifican en dos grupos:

Partículas de diámetro superior a 10 μm . En condiciones normales se depositan por acción de la gravedad. Constituyen la mayor parte de la materia sedimentable, conocida con el nombre genérico de polvo.

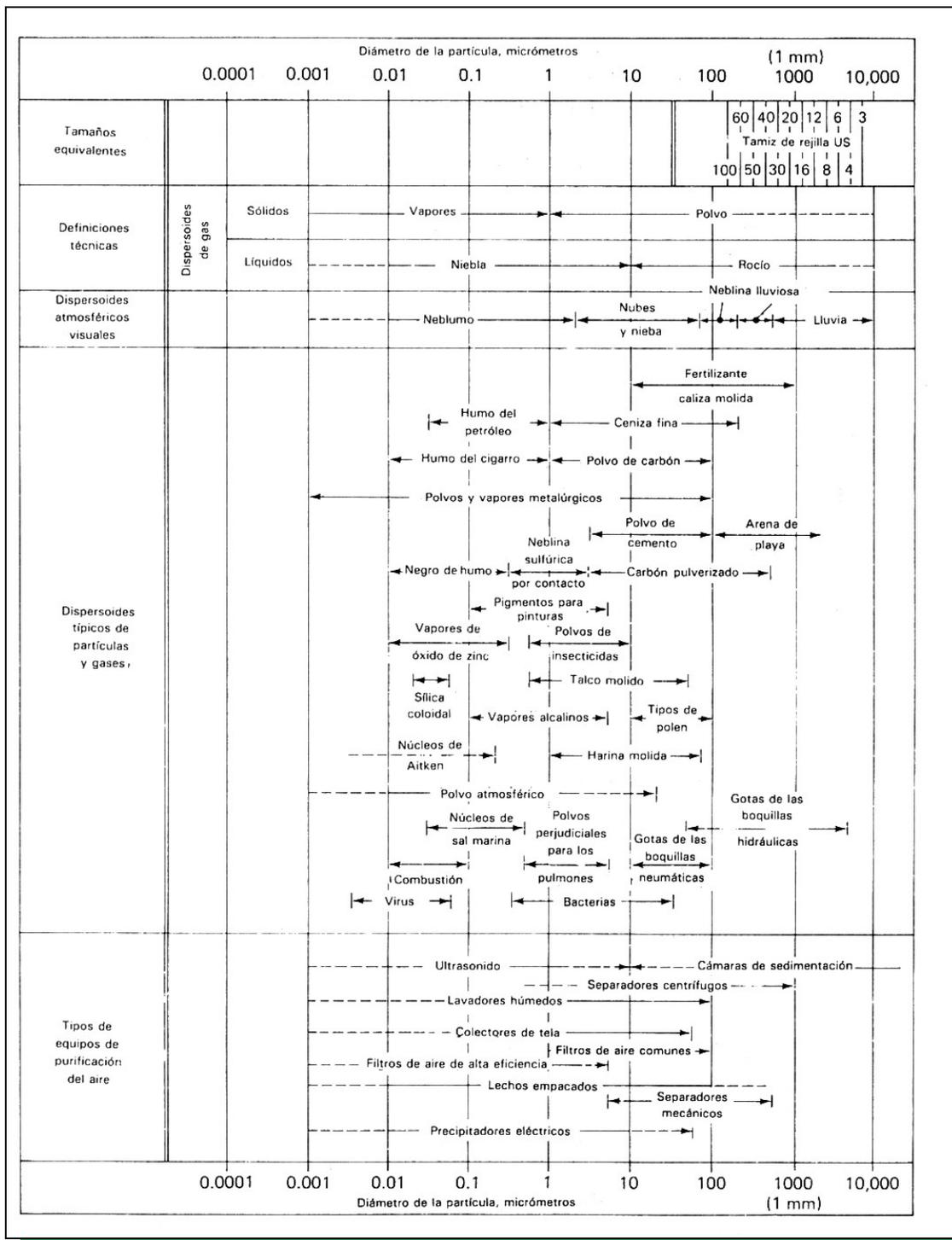
Partículas de diámetro inferior a 10 μm . No sedimentan fácilmente y forman en el aire suspensiones estables dotadas de movimiento browniano. Se denominan por el nombre de partículas en suspensión o aerosoles. Los términos aerosol y partícula en suspensión se utilizan a veces indistintamente pues los aerosoles se definen

como dispersiones de sólidos o líquidos en un medio gaseoso. Las palabras neblinas, humo y emanación se usan para indicar orígenes particulados. Las neblinas están compuestas por gotas de líquidos, en suspensión. Los humos usualmente consisten en partículas de hollín producidas por combustión y las emanaciones son vapores condensados de sustancias tanto orgánicas como metálicas.

Forma

La forma de la partícula casi define la fase física que presentan. En la mayoría de los casos la forma es esférica cuando las partículas son líquidas. Sin embargo, las partículas sólidas poseen formas muy variables, rectangular, astilladas, fibrilares, raramente esféricas. (Wark y Warner, 1992).

Tamaño y tipo de partículas



Fuente: Wark y Warner, 1992.

4.1.1. Clasificación según sus fuentes

Naturales

Las fuentes naturales primarias más importantes incluyen el polvo levantado por el viento, el aerosol marino, los volcanes y los incendios de bosques y matorrales. Las fuentes naturales secundarias incluyen los ciclos del C, S y N, así como la transformación de gases en partículas. La vegetación emite grandes cantidades de hidrocarburos, en particular compuestos del tipo de los terpenos. Una vez introducidos en la atmósfera, estos hidrocarburos toman parte en las reacciones fotoquímicas, produciendo una gran cantidad de partículas pequeñas (diámetro inferior a $0,1 \mu\text{m}$). Se piensa que estas nubes de partículas son las responsables de las nieblas azuladas observadas en los bosques.

Por último, la transformación de los compuestos gaseosos del N, NH_3 , NO y NO_2 en particular, en aerosoles constituye otra importante fuente de partículas.

Antropogénicas

Quemado de combustibles, procesos de elaboración industrial, tráfico automóvil e incineración de residuos.

Otra fuente de contaminación antropogénica por partículas es la producción de aerosoles secundarios a partir de contaminantes gaseosos primarios.

4.1.2. Composición

Partículas Sedimentables

Está constituida por sustancias solubles e insolubles. La fracción soluble recogida en zonas contaminadas es rica en sulfatos y la solución es ácida. El conjunto contiene gran cantidad de elementos metálicos y compuestos orgánicos.

Partículas en Suspensión

La fracción inorgánica aparte del carbón tiene gran cantidad de elementos metálicos, los más importantes son: Si, Ca, Na, Al y Fe. Aunque también pueden encontrarse cantidades importantes de Mg, Pb, Cu, Zn, V y Mn.

La fracción orgánica es todavía más compleja y contienen un gran número de hidrocarburos alifáticos, aromáticos, ácidos, bases, fenoles, y otras muchas clases de compuestos.

Debido a su importancia se estudian el plomo y el benzopireno, constituyentes de las partículas. (<http://www.fisicaysociedad.es/view/default.asp?cat=270>. 15 de marzo de 2006. 1:01 hrs.).

4.2. Partículas Sólidas Totales (PST)

Total de materia sólida o líquida finamente fragmentada, dispersa en la atmósfera y cuyo tamaño oscila entre 0.3 a 50 micrómetros de diámetro se le conoce como partículas suspendidas totales (PST).

Dependiendo de sus características físicas, químicas y biológicas, o de su concentración en la atmósfera, del tiempo de exposición de los receptores humanos y a la susceptibilidad de estos a las partículas, existe un riesgo sanitario sobre todo para aquellos que presentan una enfermedad respiratoria crónica. De acuerdo a lo anterior y en base a numerosos estudios epidemiológicos las muestras de PST pueden ser capaces de bloquear los mecanismos de defensa del aparato respiratorio; dar lugar a cuadros específicos correspondientes a la intoxicación por plomo, cadmio u otros metales pesados; agravar enfermedades respiratorias (asma, bronquitis, enfisema pulmonar) o incrementar la morbilidad y/o mortalidad. Por

lo tanto la concentración de PST en aire ambiente como contaminante atmosférico, no debe rebasar el límite máximo permisible de 210 microgramos por metro cúbico de aire ($\mu\text{g} / \text{m}^3$) una vez al año en veinticuatro horas, y 75 microgramos por metro cúbico de aire en un promedio aritmético anual. Estos límites han sido diseñados, para proteger fundamentalmente la salud de la población en general a exposiciones crónicas o agudas de partículas suspendidas totales (PST).

Dichos valores fueron establecidos en la norma oficial que fue publicada por el Diario Oficial de la Federación el 23 de Diciembre de 1994, con modificación el 26 de septiembre del 2005. Es importante recalcar que es de carácter obligatorio su observancia para las autoridades federales, estatales y municipales que tengan a su cargo la vigilancia y evaluación de la calidad del aire. La misma norma señala que los gobiernos de las entidades federativas deben proponer y operar los planes de verificación, seguimiento y control de los valores establecidos. (Wark y Warner, 1992).

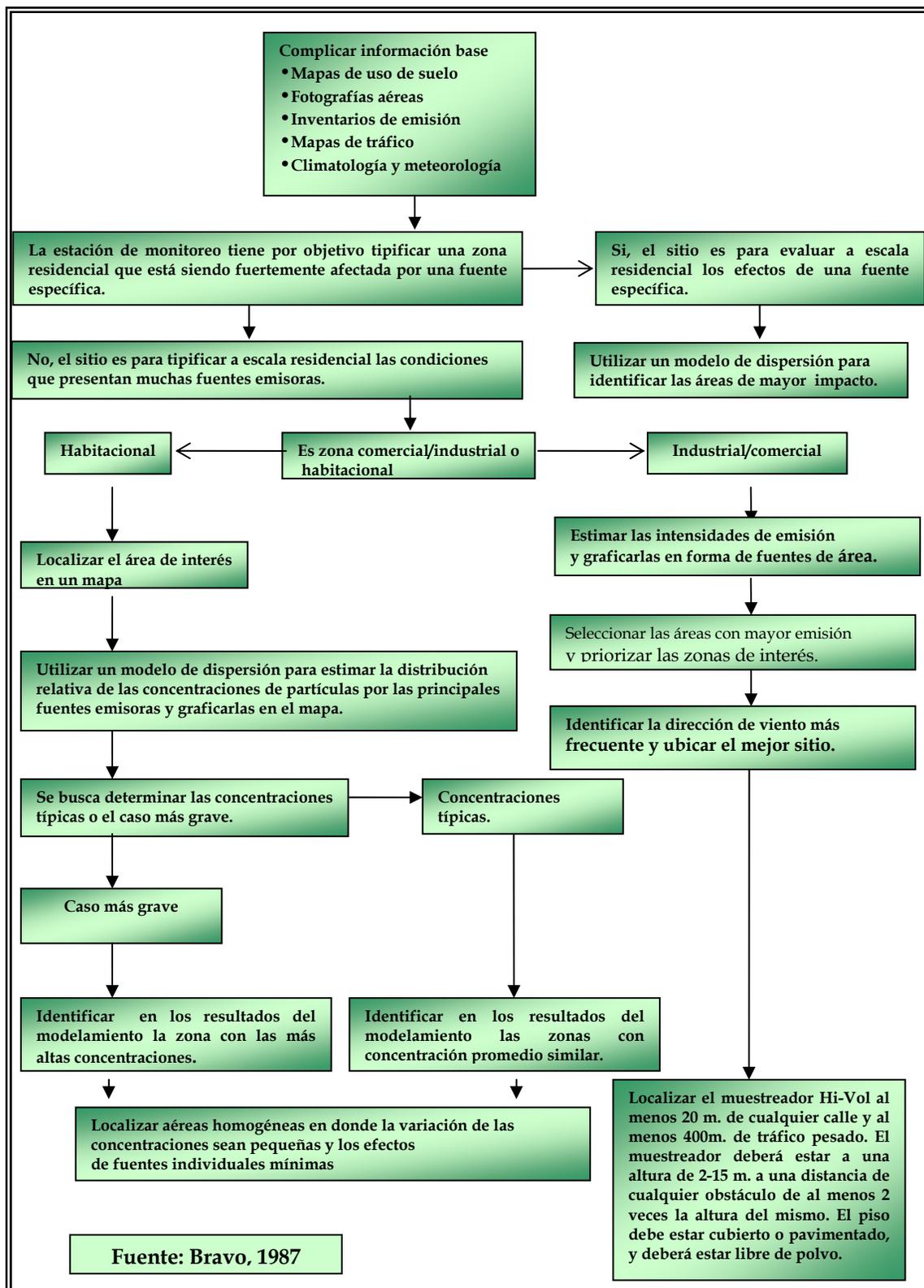
4.3. Métodos de medición: Monitoreo de Partículas Sólidas Totales

En los métodos en medición de partículas sólidas totales, existen los métodos de referencia y los métodos equivalentes de manera manual; según aprobados en la EPA (1981);

| MANUAL | |
|---|---|
| REFERENCIA | EQUIVALENTE |
| PST Método de grandes volúmenes | _____ |
| PS Método de grandes volúmenes y espectro fotométrico de absorción atmosférica. | Alto volumen y espectrometría de absorción atómica sin flama. |

Fuente: Bravo, 1987

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL PROCEDIMIENTO PARA SELECCIONAR SITIOS DE MONITOREO DE PST



4.4. Partículas Menores de Diez Micras Fracción Respirable (PM₁₀) y su Comportamiento en el Sistema Respiratorio

El término PM₁₀ es un nuevo indicador de contaminación atmosférica y representa las partículas cuyo diámetro aerodinámico es menor o igual a 10 micrómetros. (Bravo, 1987).

Las partículas cuyo diámetro es menor o igual a 10 μm se conocen como partículas de fracción inhalable o PM₁₀, no debe rebasar el límite máximo permisible de 150 microgramo por metro cúbico de aire ($\mu\text{m}/\text{m}^3$) una vez al año, en veinticuatro horas y 50 microgramos sobre metro cúbico de aire promedio aritmético anual.

Las partículas pueden estar formadas por aerosoles, polvos, metales, productos de combustión, o bien microorganismos como protozoarios, bacterias, virus, hongos y polen que pueden causar diferentes tipos de enfermedades. Cuando las partículas son inhaladas no siempre son expulsadas por los sistemas de defensa del organismo, causando problemas en el sistema respiratorio.

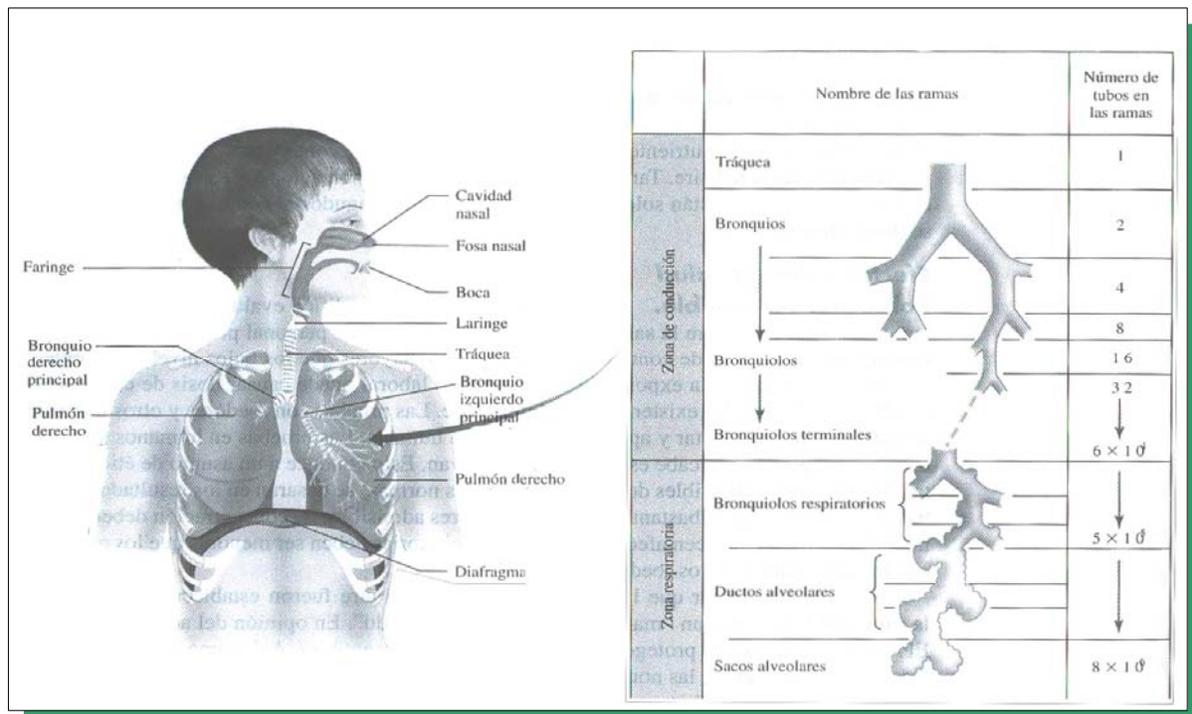
Las partículas menores a 10 micrómetros son causantes de muchos efectos, entre los que destacan la reducción de la visibilidad y los daños a la salud, estas partículas tienen un efecto indirecto: como: irritación de las membranas mucosas (ojos, nariz y garganta), dolores de cabeza, alergias sobre el aparato respiratorio, adsorbiendo agentes microbiológicos (virus, bacterias, hongos, pólenes, etc.) en su superficie y los transportan al pulmón dependiendo del tamaño de partícula que se van depositando en diferentes regiones ya sea en tracto respiratorio, donde finalmente pueden ser absorbidos y pasar a otros órganos, todo esto que depende en gran medida de la composición de estas partículas. De aquí la importancia que tiene su estudio para reconocer apropiadamente tanto sus componentes fisicoquímicos como los causantes y daños que pueden provocar el estudio de estas, ya que la contaminación por partículas puede causar a corto y largo plazo

disminuciones de la función pulmonar, lo cual contribuye a la presencia de enfermedades crónicas.

El sistema respiratorio es el sistema de nuestro cuerpo que lleva el aire (oxígeno) que respiramos hacia nuestro interior para hacer posible el crecimiento y la actividad. El sistema respiratorio se divide en dos sectores:

1. Las vías respiratorias altas o superiores - la nariz, la boca (que también forma parte del sistema gastrointestinal) y la faringe.
2. Las vías respiratorias bajas o inferiores - la laringe, la tráquea, los bronquios y los pulmones los cuales son los órganos propios del aparato respiratorio.

Partes del sistema respiratorio:



Fuente: Davis *et.al.*, 2005.

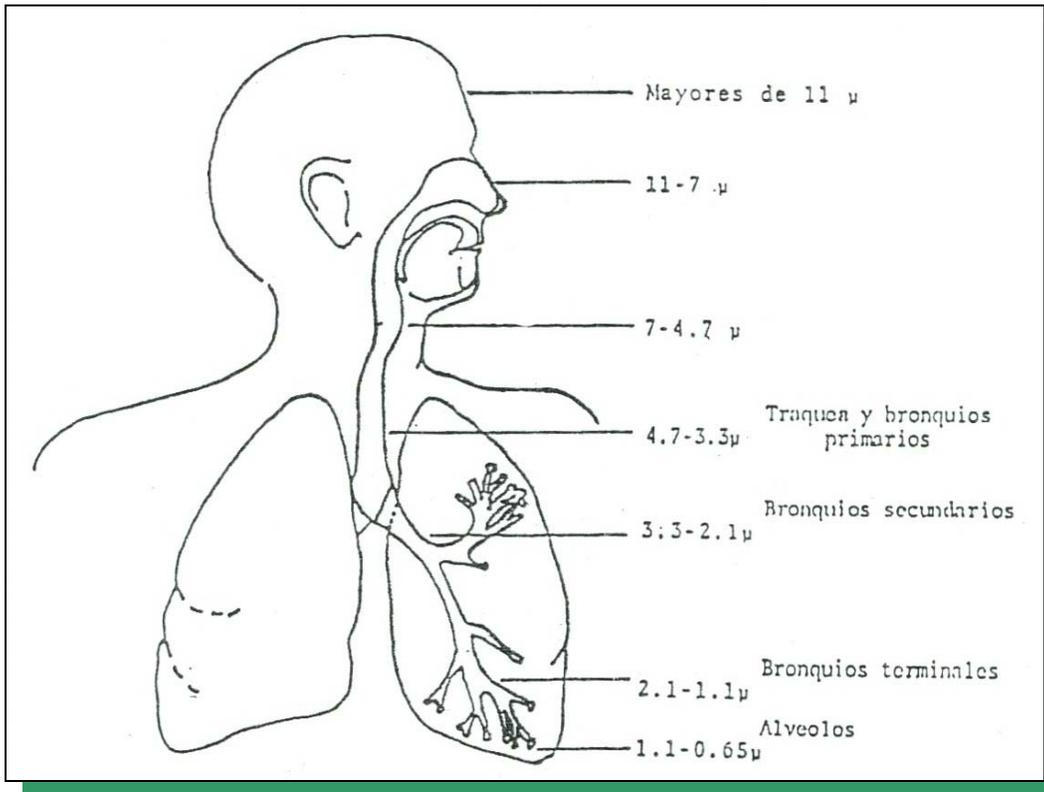
| Partes del Sistema Respiratorio | Descripción |
|---------------------------------|--|
| Nariz | Se divide en exterior e interior y contiene las cavidades nasales. Presenta dos orificios, llamados nares (nariz en singular). En las nares hay unos cilios o pelos que sirven para oler. También encontramos en la nariz las fosas nasales que conectan con la faringe. Estas fosas están divididas por el tabique nasal (fina estructura ósea, expuesta a fracturas) |
| Faringe | Es un tubo situado en las seis primeras vértebras cervicales. En su parte alta se comunica con las fosas nasales, en el centro con la boca y en la parte baja con la laringe. |
| Laringe | Es un cuerpo hueco en forma de pirámide triangular. Tiene un diámetro vertical de 7cm en el varón y en la mujer de 5 cm. Contiene las cuerdas vocales, las cuales nos permiten hablar y cantar. |
| Tráquea | Vía respiratoria de 11 cm. de longitud. Tiene una forma semicircular y está constituida por unos 15 a 20 anillos cartilagosos que le dan rigidez. En su parte inferior se divide en los bronquios derecho e izquierdo, los cuales no son exactamente iguales. |
| Bronquios | Tenemos dos bronquios principales, uno para cada pulmón. El derecho mide 20-26 m., de largo y el izquierdo alcanza 40-50 mm. Los bronquios principales entran al pulmón y se dividen en muchos, lo que se conoce como tubos bronquiales. |
| Alvéolos | Son unas formaciones en forma de saco, en las que la sangre elimina bióxido de carbono y recoge el oxígeno. Nosotros tenemos 300 millones de alvéolos. |
| Pulmones | Se encuentran debajo de las costillas. Tienen un peso aproximado de 1,300 gr. cada uno. El pulmón derecho es más grande y se divide en tres lóbulos mientras que el izquierdo se divide en dos. Los pulmones miden 30 cm. de largo y 70 metros cuadrados de superficie. |
| Diafragma | Un músculo que separa la cavidad torácica de la cavidad abdominal y que al contraerse ayuda a la entrada de aire a los pulmones. |

<http://www.pulmon.org/partessr.htm> 14 agosto 2006.1:05 hrs.

El sistema respiratorio y su comportamiento con respecto a las partículas; el aire es inhalado por la nariz que actúa como el sistema filtrante primario del cuerpo, los pelos pequeños y las condiciones calientes y húmedos de la nariz eliminan eficazmente las partículas contaminantes de mayor tamaño, luego el aire pasa por la faringe, esófago y laringe antes de llegar a la parte superior de la traquea; la traquea se divide en dos partes: los bronquios izquierdo y derecho. Cada bronquio se subdivide en compartimentos cada vez más pequeños llamados bronquiolos que contienen millones de bolsas de aire llamadas alvéolos. Los bronquiolos y los alvéolos, constituyen a los pulmones.

El Material Particulado Respirable PM₁₀, es un indicador de contaminación atmosférica y representa las partículas cuyo diámetro aerodinámico es menor o igual a 10 micrómetros, o bien; es inferior a 10 μm (1 micrómetro corresponde la milésima parte de 1 milímetro). (Albert, 1994).

Las partículas menores a 10 micrómetros son causantes de muchos efectos, entre los que destacan la reducción de la visibilidad y los daños a la salud, estas partículas tienen un efecto indirecto: como: irritación de las membranas mucosas (ojos, nariz y garganta), dolores de cabeza, alergias sobre el aparato respiratorio, adsorbiendo agentes microbiológicos (virus, bacterias, hongos, pólenes, etc.) en su superficie y los transportan al pulmón dependiendo del tamaño de partícula que se van depositando en diferentes regiones ya sea en tracto respiratorio, donde finalmente pueden ser absorbidos y pasar a otros órganos, todo esto que depende en gran medida de la composición de estas partículas. De aquí la importancia que tiene su estudio para reconocer apropiadamente tanto sus componentes fisicoquímicos como los causantes y daños que pueden provocar el estudio de estas, ya que la contaminación por partículas puede causar a corto y largo plazo disminuciones de la función pulmonar, lo cual contribuye a la presencia de enfermedades crónicas. (Albert, 1994).



Fuente: Bravo, 1987

Capítulo 5. Contaminación en Interiores

Los efectos de la contaminación del aire en interiores han recibido mayor atención en los últimos años porque es ahí donde las personas pasan el 90% de su tiempo. Diversos estudios han indicado que la exposición de algunos contaminantes puede ser dos a cinco veces mayor en interiores que al aire libre.

Hay varios tipos de contaminación en interiores tales como, el humo de los artefactos, chimeneas y cigarrillos; contaminantes orgánicos de las pinturas, colorantes, limpiadores y materiales de construcción; y el radón. (Albert, 1994).

La contaminación en interiores, se puede definir como la naturaleza del aire en cuanto afecta a la salud y bienestar de los ocupantes de un edificio o vivienda. La cantidad de tiempo pasado en el interior es algo por lo que hay que preocuparse dada la circunstancia de que los estudios dirigidos por la Agencia de Protección de Medioambiente (EPA), muestran que los niveles de polución de los interiores pueden llegar a ser de 10 a 100 veces más elevados que las concentraciones exteriores. (Wadden y Scheff, 1987).

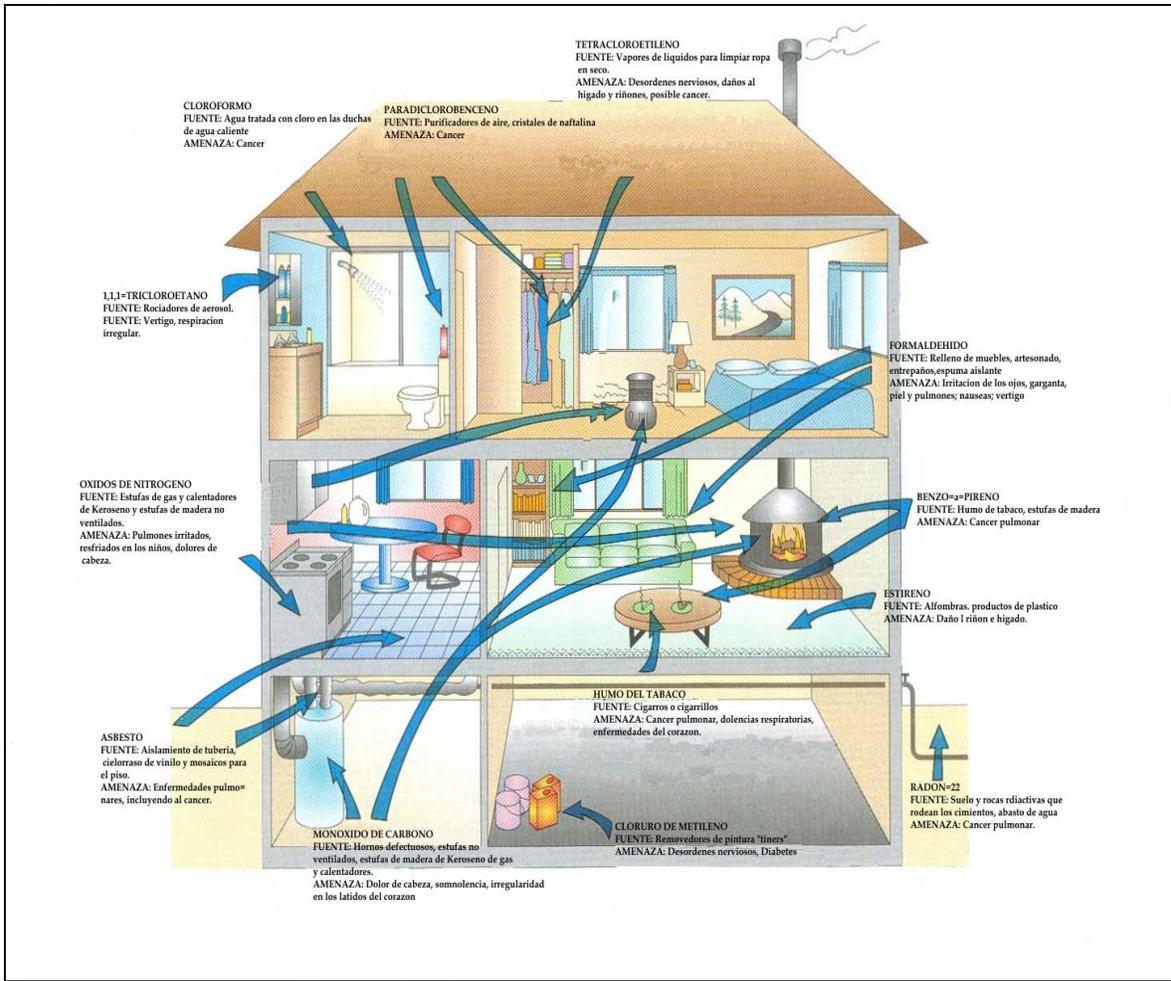
Con el fin de poder identificar los riesgos a la salud derivados de la exposición a contaminantes del aire interior, es necesario definir cuáles son los principales contaminantes y cómo actúan en el organismo humano. Muchos estudios han demostrado que la calidad del aire interior afecta en forma sustancial la salud de las personas expuestas. Existen instrumentos y técnicas que permiten se conozcan las concentraciones de variedad de contaminantes, sin embargo los efectos de éstos y/o de sus mezclas son muy difíciles de definir. Gran parte de estos estudios indican que un individuo tendrá mayor riesgo de manifestar algún efecto negativo

por exposición a contaminantes si la dosis y el tiempo de exposición son mayores. (WHO/2000 Guidelines for Air Quality).

Las principales fuentes de contaminantes químicos del aire interior están constituidas por sus actividades, las emisiones de los materiales de construcción, los muebles y artefactos y diversos productos de uso doméstico. La contaminación por agentes biológicos está muy relacionada con la presencia de humedad, a la existencia de animales y en lugares donde se emplea calefacción y se tiene aire acondicionado (sistemas de ventilación), se puede considerar a éstos, como fuentes de contaminación. Los contaminantes del aire interior se pueden clasificar de varias maneras, un enfoque es dividirlos en agentes químicos, físicos y biológicos. El otro, es clasificarlos de acuerdo a su origen, el origen de una partícula tiene un impacto importante sobre la composición que puede incluir agentes químicos y biológicos además de la naturaleza física propia de la partícula, por ejemplo, la combustión del tabaco genera una compleja mezcla de contaminantes.

(WHO/2000 Guidelines for Air Quality).

Capítulo 5. Contaminación en Interiores



Fuente: Miller / Environmental science 2002.

5.1. Principales Contaminantes y Fuentes de Contaminación del Aire Interior, Agrupados por Origen

| Contaminantes Principales | Fuentes predominantemente del exterior |
|--|---|
| Dióxido de azufre (SO ₂), Material Particulado en suspensión (MPS) / Material Particulado Respirable (MPR) | Combustión de combustibles, fundiciones |
| Ozono (O ₃) | Reacciones fotoquímicas |
| Polen | Árboles, pasto (grass), plantas |
| Plomo (Pb), Manganeso (Mn) | Automóviles |
| Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (PAH) | Solventes petroquímicos, vaporización de combustibles no quemados |
| Contaminantes Principales | Fuentes tanto del interior como del exterior |
| Óxidos de Nitrógeno (NO _x), Monóxido de Carbono (CO) | Quema de combustible |
| Dióxido de Carbono (CO ₂) | Quema de combustible, actividad metabólica |
| Material Particulado en Suspensión (MPS) y Material Particulado Respirable (MPR) | Humo del tabaco, resuspensión, condensación de vapor y productos de combustión |
| Vapor de Agua | Actividad Biológica, combustión, evaporación |
| Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) | Volatilización, quema de combustibles, pintura, acción metabólica, plaguicidas |
| Esporas | Hongos , moho |
| Contaminantes Principales | Fuentes predominantemente del interior |
| Radón (Rd) | Suelo, material de construcción, agua |
| Formaldehído (HCHO) | Aislamiento, muebles, humo del tabaco |
| Asbestos | Retardantes de fuego, aislamientos |
| Amonio (NH ₃) | Productos de limpieza, actividad metabólica |
| Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (PAH), Arsénico (As), acroleína | Humo del tabaco |
| Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) | Adhesivos, solventes, cocina, cosméticos |
| Mercurio (Hg) | Fungicidas, pinturas, derrame o ruptura de productos que contienen mercurio |
| Aerosoles | Productos de consumo doméstico, polvo de la casa |
| Alergenos | Polvo de la casa |
| Organismos viables | Infecciones |
| Fuente: Guidelines for Air Quality (Adaptado de Suess 1992; WHO 1995) | |

5.2. Sistemas de Aires Acondicionados

Una de las finalidades primordiales de los edificios, es proporcionar a las personas que lo habitan o que trabajan en ellos abrigo contra las inclemencias del tiempo ya sea con temperaturas que produzcan frío o calor.

Se tiene que tener en claro que las condiciones de confort ideales, no son las mismas para todas las personas. El hombre continuamente esta buscando la manera de encontrar mejores condiciones para sentirse más confortable, y un ejemplo es el aire acondicionado.

Ahora bien, el termino confort térmico es cuando el ritmo al que generamos calor es el mismo que el ritmo al que lo perdemos para nuestra temperatura corporal normal. Esto implica que, en balance global, tenemos que perder calor permanentemente para encontrarnos bien, pero al "ritmo" adecuado; influyen varios factores: Actividad física y mental, Metabolismo, Aislamiento natural del individuo, Ropa de abrigo, Temperatura del aire, Temperatura de radiación, Movimiento del aire, Humedad del aire. (Allen, 1982).

De acuerdo a las condiciones meteorológicas de Chetumal Quintan Roo, se hace necesaria e indispensable la utilización de sistemas de aires acondicionados debido a las altas temperaturas que se presentan.

Para la mayoría de las personas, el acondicionamiento de aire significa simplemente "enfriamiento del aire". El acondicionamiento de aire es el proceso de tratamiento del mismo en un ambiente interior con el fin de establecer y mantener los estándares requeridos de temperatura, humedad, limpieza y movimiento. (Pita, 2002).

Los sistemas de acondicionamiento de aire se pueden clasificar también ya sean en unitarios, o en centrales. Esta clasificación no es de acuerdo a como funciona el

sistema, sino a cómo está dispuesto el equipo. Un sistema unitario es aquel en el cual los componentes de acondicionamiento de aire están seleccionados de fábrica y empaquetados. Esto incluye al equipo de refrigeración, ventilador, serpentines, filtros, compuertas y controles.

Un sistema central o remoto es aquel en el cual los componentes están separados. El equipo central por lo general está alejado del recinto, y cada uno de los componentes puede o no estar alejado de los demás.

Los sistemas unitarios o centrales pueden en teoría ser de sólo agua o de agua y aire, pero en la práctica los sistemas unitarios son en general de sólo aire y están limitados principalmente a los tipos más sencillos.

Las unidades de recinto se consiguen en dos tipos: unidades de ventana y unidades de pared.

La unidad de ventana ajusta a una abertura en el marco de una ventana existente, y descansa en el umbral.

La unidad de pared encaja en una abertura exterior, en general bajo el umbral de la ventana. (Pita, 2002).

En la caja de la unidad están armados el compresor, evaporador, serpentín de enfriamiento, condensador, filtro, motores, ventilador y controles. Se pueden ajustar las compuertas para que sólo se use el aire del recinto o para que pueda entrar algo de aire exterior de ventilación al acondicionador. Las unidades de recinto se consiguen hasta de 3 toneladas de capacidad de refrigeración. Sus ventajas son su bajo costo y simplicidad de instalación y operación.

Las unidades de ventana se aplican especialmente en las construcciones existentes. Las unidades de pared se usan con frecuencia en casa de apartamentos nuevas, donde es más importante el bajo costo.

Las unidades de ventana no tienen flexibilidad para manejar altas ganancias de calor latente, o relaciones variables de calor sensible y por lo tanto no proporcionan un buen control de humedad. Los niveles sonoros son mayores que los que produce el equipo remoto. La calidad de limpieza del aire es mínima, porque los filtros sólo eliminan las partículas grandes para que sea baja la resistencia al flujo de aire. Cuando se usan en construcciones de recintos múltiples, el mantenimiento del gran número de unidades puede ser tedioso y caro. Estas unidades son inherentemente consumidoras de energía en usos múltiples, porque no pueden modular su capacidad. (Pita, 2002).

Dispositivos para la Limpieza del Aire (Filtros)

Los sistemas de acondicionamiento que hacen circular el aire en general tienen la posibilidad de eliminar algunos de los contaminantes. La mayor parte de los sistemas cuentan con dispositivos que eliminan partículas de polvo o tierra, que se originan principalmente por la contaminación industrial. A veces también se eliminan gases cuyo olor es desagradable.

La limpieza del aire con frecuencia se trata cuando se diseña y se opera un sistema de acondicionamiento de aire. Se puede escoger el tipo incorrecto de filtro, o bien los filtros no se conservan en forma correcta.

Esta negligencia es grave, porque se trata de un asunto de contaminación de aire y salud humana. Es necesaria la limpieza adecuada del aire por las siguientes razones:

1. Protección de la salud y el confort humano. Las partículas de polvo se relacionan con serios padecimientos respiratorios (enfisema y asma).
2. Mantenimiento de la limpieza de las superficies y muebles del recinto.

3. Protección del equipo de acondicionamiento de aire. Algunos equipos no trabajan correctamente o se gastan con mayor rapidez sin la limpieza adecuada. Algunos procesos de fabricación son especialmente sensibles.
4. Protección de la maquinaria de acondicionamiento de aire. El polvo que se acumula en los serpentines aumenta su resistencia a la transferencia de calor.

5.2.1. Métodos de Eliminación de Polvo

Los limpiadores de aire pueden eliminar el polvo de tres formas principales:

1. Impacto. Las partículas de polvo en la corriente de aire chocan con el medio filtrante y se detienen.
2. Colado. Las partículas de polvo son mayores que el espacio entre las fibras adyacentes y por lo tanto no pasan a la corriente de aire.
3. Precipitación electrostática. A las partículas de polvo se les comunica a una carga eléctrica. Al medio filtrante se le comunica la carga opuesta, y por lo tanto las partículas son atraídas hacia el medio.

Un filtro puede eliminar el polvo mediante uno o más de los métodos anteriores.

5.2.2. Métodos de Prueba de Filtros

Es importante la comprensión de cómo se evalúa el desempeño de los filtros de aire porque únicamente de este modo se puede seleccionar un filtro adecuado. Sólo en años recientes se han desarrollado métodos reglamentarios de prueba, sin estos procedimientos, no se pueden comparar los filtros entre sí. El funcionamiento de los filtros de la concentración y tamaños de las partículas de polvo en el aire. Varía mucho de un lugar a otro y a diferentes horas.

Las industrias aceptan y recomiendan en general las siguientes pruebas:

1. **Peso.** Se mide el peso del polvo capturado por el filtro. Se usa un polvo estándar de concentración y tamaños de partícula fijos. Esta prueba es útil para comparar la capacidad para eliminar partículas pequeñas, porque éstas representan una porción muy baja del peso del polvo atmosférico.
2. **Decoloración por mancha de polvo.** En esta prueba se pasa el aire primero a través del dispositivo limpiador de éste y a continuación por un papel blanco. El grado al cual se decolora el papel es un indicador de la cantidad de las partículas de polvo más pequeñas que no se eliminaron en el limpiador de aire. Es importante esta prueba debido a que esas partículas son las que causan el ensuciamiento de las superficies del recinto.
3. **Penetración con Dioctilo de Ftalato "DOP".** Esta prueba se usa para medir la capacidad de los limpiadores de aire para eliminar partículas extremadamente pequeñas. Se genera químicamente una nube de partículas de una sustancia llamada DOP. El diámetro de esas partículas es 0.3 micras (una micra es una milésima de milímetro). La nube de partículas DOP en la corriente de aire se pasa a través del limpiador. Se mide, corriente abajo del limpiador, la concentración de partículas que no se eliminaron, con una técnica de dispersión de luz. De este se mide la eficacia de eliminación de partículas muy pequeñas. Por ejemplo, las bacterias tienen diámetros de 0.3 a 30 micras, y el humo de cigarrillo de 0.01 a 1 micra. La prueba con DOP sólo se usa en limpiadores de aire diseñados para una alta eficiencia de remoción de partículas muy pequeñas.
4. **Capacidad de retención de polvo.** Las tres pruebas anteriores miden la eficiencia de un limpiador para eliminar partículas. Lo que no miden es cuánto aumenta la resistencia del filtro al paso del aire, con la acumulación de polvo. Es preferible un filtro que retenga gran cantidad de polvo antes que aumente mucho su resistencia, a uno que tenga menor capacidad antes de la acumulación a una resistencia dada. La prueba de retención de polvo

compara el peso del polvo retenido con el aumento en la resistencia al aire a través del filtro.

5.2.3. Tipos de Limpiadores de Aire

Los limpiadores de aire se pueden clasificar de varias maneras.

Tipo de medio filtrante. El filtro de impacto viscoso tiene un medio de fibras gruesas recubiertas con un adhesivo viscoso. Se usan en general fibras de vidrio y pantallas metálicas. Las velocidades del aire van de 300 a 600 ft. por minuto. La caída de presión cuando están limpios es baja, de aproximadamente 0.1 in. de agua; se debe dar servicio al filtro cuando la resistencia alcanza 0.5 in. de agua. Este tipo de filtro elimina satisfactoriamente las partículas mayores de polvo, pero no las pequeñas. Su costo es económico.

El filtro de aire tipo seco usa colchonetas de fibra sin recubrir. Los materiales que más se utilizan son fibras de vidrio y papel. Los medios pueden fabricarse con fibras gruesas distribuidas toscamente, o fibras finas empacadas densamente. Variando la densidad, los filtros de aire tipo seco pueden ser eficientes sólo para partículas grandes, como los del tipo de impacto viscoso, o también con eficiencia media o alta para eliminar partículas muy pequeñas.

El filtro HEPA (alta eficiencia para partículas en aire, en inglés High Efficiency Particulate Air) es de muy alta eficiencia, tipo seco, para eliminar partículas extremadamente pequeñas. Por ejemplo, es el único tipo de filtro que elimina eficazmente virus tan pequeños como 0.05 micras. Las velocidades superficiales de aire a través de esos filtros son muy bajas, de unos 50 ft. por minuto, y la resistencia aumenta hasta unos 2.0 in. de columna de agua antes del servicio. Son bastante costosos.

Se pueden disponer los medios de los filtros en forma de colchonetas de fibras orientadas al azar, pantallas, o bandas sinuosas corrugadas.

Permanentes o desechables. Los filtros de aire se pueden diseñar para que se desechen cuando se llenan de polvo, o para limpiarse y volverse a usar. Los tipos permanentes tienen medios metálicos que resisten lavados repetidos, pero su costo es más elevado que los del tipo desechable.

Estacionarios o renovables. Los filtros estacionarios de aire se fabrican en forma de tableros rectangulares que se colocan o apilan a lo largo, según el tamaño necesario. Los tableros se quitan y se reemplazan o se limpian, cuando están sucios. Los filtros renovables de aire consisten de un rollo montado en un carrete, que se mueve a través de la corriente de aire. El medio se enrolla en un carrete de recepción, impulsado por un motor. Con frecuencia se controla el movimiento del medio mediante un interruptor de presión que siente la caída de presión a través del medio. Cuando la resistencia aumenta a un valor predeterminado, debido a la acumulación de polvo, el motor mueve la cortina, dejando al descubierto el medio que está más limpio. Los filtros renovables de aire son bastante más costosos que los de tipo estacionario, pero los costos de mantenimiento son mucho menores. Tanto materiales fibrosos como pantallas metálicas se usan como medios.

Limpiadores electrónicos de aire. En este tipo no hay material fibroso que atrape al polvo. Mediante una malla electrizada se comunica un alto voltaje a las partículas de polvo. A una serie de placas paralelas se les comunica la carga eléctrica opuesta. Cuando la corriente de aire cargado de polvo pasa entre las placas, las partículas de polvo son atraídas hacia a ellas. Estas pueden estar cubiertas con un material viscoso para detener el polvo. Después de determinado tiempo se debe quitar el limpiador para limpiar las placas y eliminar el polvo. Los limpiadores electrónicos de aire son costosos, pero muy eficientes para eliminar partículas tanto grandes como pequeñas.

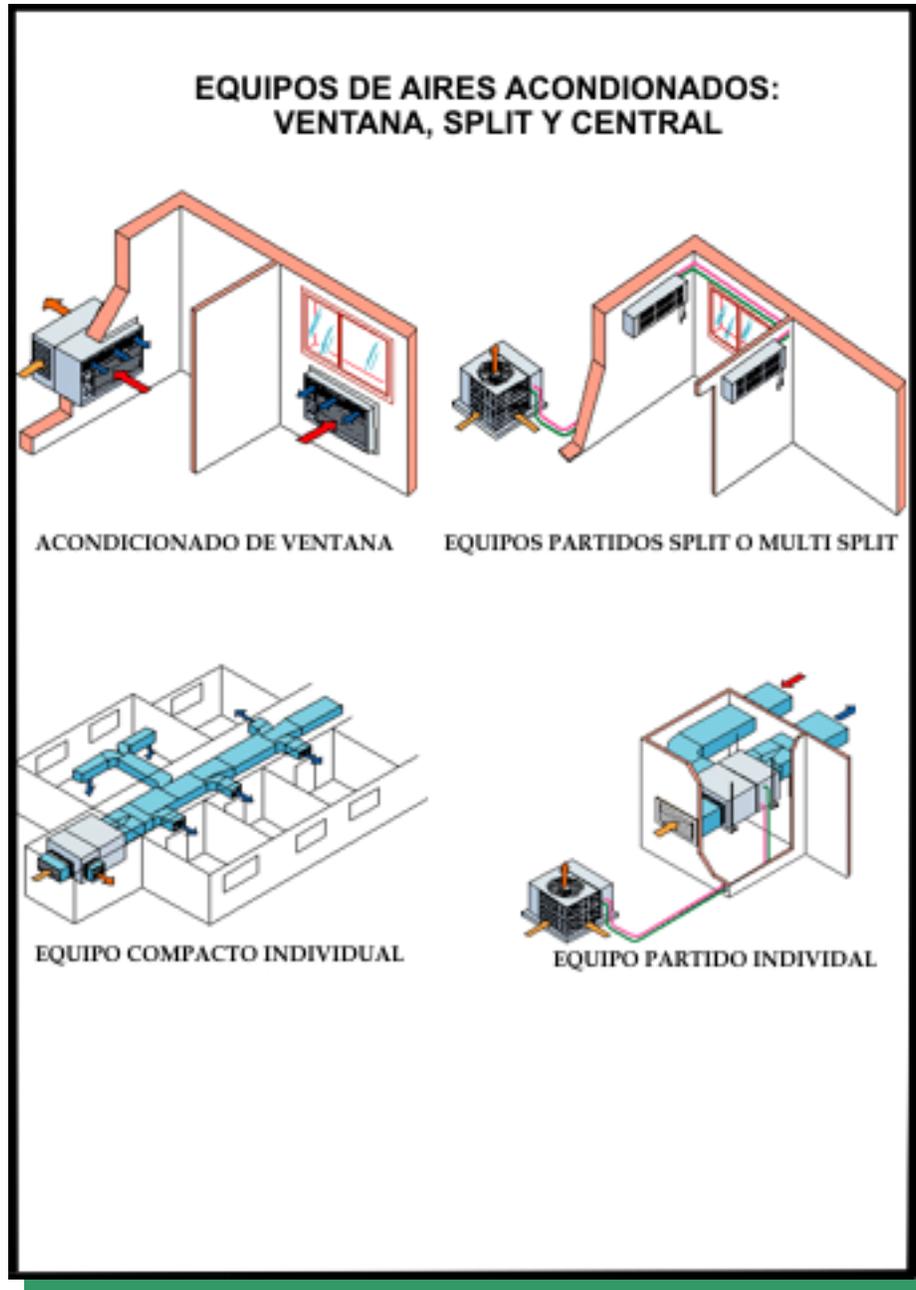
5.3. Selección de Limpiadores de Aire

La selección del limpiador adecuado depende del grado de contaminación del aire por limpiar y de los requisitos de limpieza. Para las aplicaciones con limpieza mínima y bajo costo se usan los filtros del tipo de impacto viscoso, y desechables. Ejemplo de ello sería una residencia privada o casa de apartamentos. Para aplicaciones con mayor grado de limpieza, y donde la contaminación es mayor, quizá se use un filtro de tipo seco de eficiencia intermedia. Otra selección sería los limpiadores electrónicos, en especial donde se fuma mucho. Con frecuencia se usan los filtros electrónicos junto con un prefiltro, que es un filtro grueso y de impacto viscoso, limpiable, que primero elimina las partículas grandes, para que no origine acumulación rápida en el limpiador electrónico. Esta disposición se usa mucho en los grandes edificios comerciales.

Donde sea crítica la remoción de partículas extremadamente pequeñas, como virus, bacterias o partículas radiactivas, se usan filtros HEPA. También a estos se les respalda normalmente con un prefiltro grueso para eliminar las partículas grandes.

Para eliminar del aire gases con malos olores se usan filtros de carbón activado, el carbón absorbe las moléculas gaseosas. Estos filtros se usan a veces en los restaurantes para eliminar los gases olorosos que se originan al cocinar. (Pita, 2002).

5.3.1. Diferencias de los 3 Equipos de Sistemas de Aires Acondicionados (Ventana, Split y Centrales)



Fuente: <http://bdd.unizar.es/> 18/10/2006/6:31 hrs.

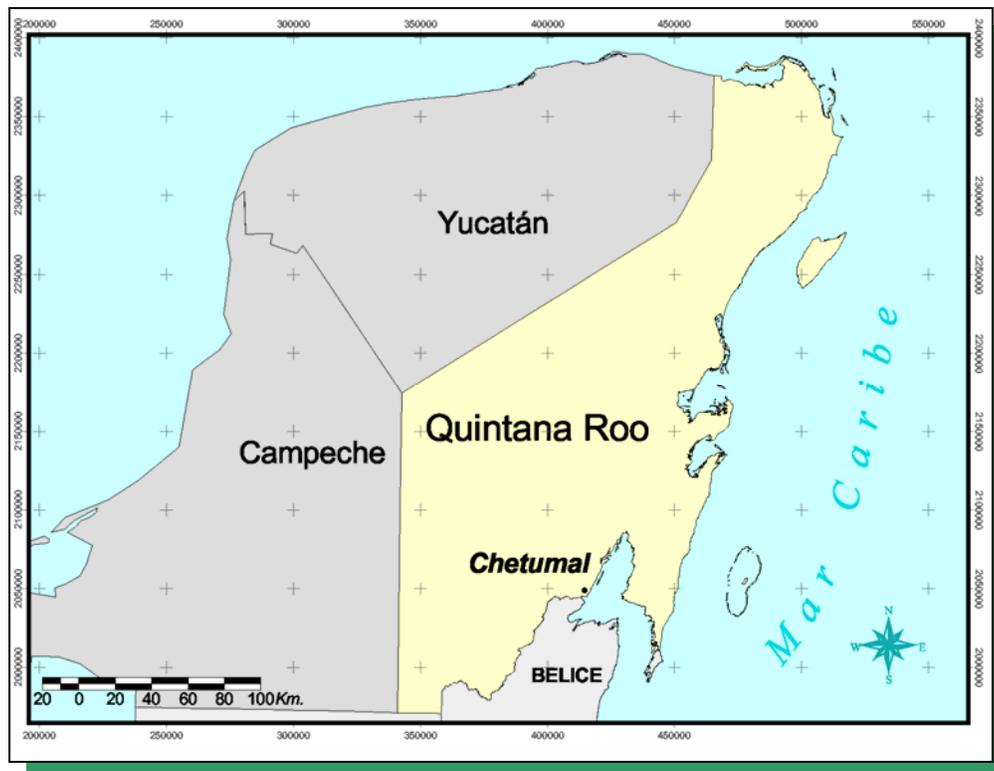
| VENTANA | SPLIT O MULTI-SPLIT | CENTRALES |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Equipo unitario • Compacto • Descarga directa • Instalación se realiza en ventana o muro • Requiere toma de aire y expulsión a través del hueco • No requieren ducto | <ul style="list-style-type: none"> • Equipo unitario • Descarga directa • Se diferencia de los compactos en que la unidad formada por el compresor y el condensador está situada en el exterior, mientras que la unidad evaporadora se instala en el interior • Instalación puede ser tipo mural, de techo y consolas • Ambas unidades se conectan mediante las líneas de refrigerante • Poco ruidoso | <ul style="list-style-type: none"> • Está formado por 2 unidades • Descarga indirecta • Un solo equipo para toda la vivienda o local • Control desde un solo punto • Requiere ducto |

Capítulo 6. Descripción del Área de Estudio

6.1. Marco Histórico Geográfico

6.1.1. Ubicación

La ciudad de Chetumal Quintana Roo, se encuentra en el municipio de Othón. P. Blanco con ubicación, zona sur del estado, entre las coordenadas extremas $19^{\circ} 19'$ y $17^{\circ} 50'$ de latitud norte y a los $87^{\circ} 15'$ y $89^{\circ} 25'$ de longitud oeste.



Fuente: Centro de Información Geográfica. Universidad de Quintana Roo

6.1.2. Hidrografía

La roca caliza que forma el sustrato geológico del municipio impide, en gran medida, la formación de escurrimientos y cuerpos de agua superficiales. Aun así,

se observan dos ríos permanentes, el Río Hondo, frontera con Belice, y el Río Escondido. Existen buen número de escurrimientos que se pierden por infiltración; muchos de ellos culminan en terrenos deprimidos sujetos a inundación, a los que se da el nombre de aguadas. También se localizan lagunas importantes como Bacalar, San Felipe, Milagros y Guerrero, todas en las inmediaciones de Chetumal.

6.1.3. Orografía

En el extremo este del municipio destaca la Meseta Baja de Zoh-Laguna, en donde se presentan altitudes de 300 metros, que son las mayores que hay en Quintana Roo. Esta zona elevada está separada de la zona de planicie por bruscos escalones que corresponden a líneas de falla. En la zona de planicie, la más extensa del municipio, se encuentra un gran número de áreas deprimidas denominadas “bajos”, en las que se forman las aguadas. Los terrenos calcáreos que forman el suelo del municipio pertenecen a los periodos terciario y cuaternario de la Era Cenozoica. Existen rocas tanto del terciario inferior como del terciario superior. Las rocas del cuaternario, las más jóvenes, se localizan en la costa, mientras que las rocas más antiguas, que son las del terciario inferior, se encuentran al otro extremo del municipio. Varios tipos de suelo se han desarrollado sobre estas rocas, formando un complejo mosaico. Son muy importantes los suelos de gley o akalché, según la clasificación edafológica desarrollada por los mayas. Estos suelos son arcillosos y, como ocupan las zonas más bajas, se inundan durante la época de lluvias. Son aptos para cultivos como el arroz y la caña de azúcar. Los mejores, desde el punto de vista agrícola, son los segundos en abundancia en el municipio. El resto del territorio municipal tiene suelos de tzeke, poco aptos para la agricultura por ser delgados y pedregosos, que corresponden a rendzinas y litosoles, y suelos kankab (luvisoles), que son relativamente profundos, lo que permite la práctica de una agricultura mecanizada.

6.1.4. Flora

La vegetación que más superficie ocupa en el municipio es la selva mediana subperennifolia, asociación que predomina en el estado. En ésta, las especies más importantes son el zapote, el yaaxnik y el ramón. En forma de manchones, alternándose con la selva mediana y con el tular, se presenta la selva baja subperennifolia, cuyos árboles más altos no rebasan los 10 metros de altura. Al suroeste del municipio existe una extensión notable de selva alta subperennifolia, donde aún hay un número significativo de caobas; se encuentran además zapote y pucté, entre otras especies. Hacia la costa resaltan amplias superficies de tular y manglar.

6.1.5. Clima

El clima del municipio es cálido subhúmedo con régimen de lluvias en verano, pero la variación en las precipitaciones hace que se formen tres subtipos de este clima. La temperatura media anual oscila entre los 25° y 27° C. Los vientos dominantes son los que provienen del Mar Caribe y que llenan de humedad al continente. (http://dzibanche.biblos.uqroo.mx/enc_munic_mex/quintanaroo/Mpios/23004a.htm 24 marzo de 1996 10:30 hrs.)

Estadística meteorológica promedio anual del 2005 de Chetumal, Quintana Roo

| | |
|---|-------|
| TEMPERATURA MÁXIMA REGISTRADA | 37 °C |
| Temperatura Mínima registrada | 13 °C |
| Temperatura Promedio durante el 2005 | 27 °C |
| Humedad Relativa Máxima | 100 % |
| Humedad Relativa Mínima | 32 % |
| Humedad Relativa Promedio durante el año 2005 | 80 % |
| Viento Máximo registrado del ESTE con una intensidad de | 15 KT |
| Dirección e intensidad promedio del viento del ESTE con intensidad de | 05 KT |

Fuente: (Fuerza Aérea Mexicana, Dirección del Servicio Meteorológico, Elaboro: El capitán 1/ Fuerza Aérea MET.Jefe.O.P.E. Y C. Litz Neguib de Guadalupe Medina Córdoba).

Días al año que rebasan los 30 °C en 2005 en Chetumal Quintana Roo:

| MES | TEMPERATURA DE 30 GRADOS °C | TEMPERATURA MAYORES DE 30 GRADOS °C |
|--------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Enero | 2 | ---- |
| Febrero | 6 | ---- |
| Marzo | 10 | 18 |
| Abril | 1 | 26 |
| Mayo | 1 | 29 |
| Junio | 1 | 24 |
| Julio | 1 | 28 |
| Agosto | ---- | 30 |
| Septiembre | ---- | 30 |
| Octubre | 4 | 21 |
| Noviembre | 11 | 5 |
| Diciembre | 12 | 4 |
| TOTAL | 49 DIAS | 215 DIAS |

Fuente: (Fuerza Aérea Mexicana, Dirección del Servicio Meteorológico, Elaboro: El capitán 1/º Fuerza Aérea MET. Jefe. O. P. E. Y C. Litz Neguib de Guadalupe Medina Córdoba).

Direcciones del viento predominantes del 2005

| | |
|-------------------|--|
| Enero | domino el viento en calma, registrándose algunas rachas de viento del sureste de 28 kph |
| Febrero | domino el viento del este (090) con una intensidad de 9 kph, y un vientos máximo registrado del este (090) con 28 kph |
| Marzo | domino el viento del este (090) con una intensidad de 18 kph |
| Abril | domino el viento del este(090) con una intensidad de 9 kph y un viento máximo registrado del este (090).con 28 kph |
| Mayo | domino el viento del este (090) con una intensidad de 9 kph y un viento máximo registrado del este(090)con 28 kph |
| Junio | domino el viento del este (090) con una intensidad de 9 kph y un viento máximo registrado del este(090)con 28 kph |
| Julio | domino el viento del este (090) con una intensidad de 9 kph y un viento máximo registrado del este-noreste (100)con 28 kph |
| Agosto | domino el viento en calma, registrándose algunas rachas de viento del sureste de 28 kph |
| Septiembre | domino el viento en calma, registrándose algunas rachas de viento del sureste de 28 kph |
| Octubre | domino el viento en calma, registrándose algunas rachas de viento del oeste de 18 kph |
| Noviembre | domino el viento en calma |
| Diciembre | domino el viento del este (090) con una intensidad de 6 kph y un viento máximo registrado del este(090)con 28 kph |

Fuente: (Fuerza Aérea Mexicana, Dirección del Servicio Meteorológico, Elaboro: El capitán 1/ Fuerza Aérea MET.Jefe.O.P.E. Y C. Litz Neguib de Guadalupe Medina Córdoba).

6.2. Sector Social

6.2.1. Salud

En el 2002 se realizó a nivel nacional un diagnostico de salud ambiental y ocupacional, por la Dirección General de Salud Ambiental; se observa que los habitantes de las entidades costeras manifiestan mayor número de casos de asma,

posiblemente debido a la humedad del ambiente, donde el polvo intradomiciliario tiene grandes posibilidades de penetrar en las vías aéreas en forma de partículas suspendidas. También se ha atribuido su mayor frecuencia en estas regiones al empleo de sistemas de aire acondicionado que guardan una gran cantidad de polvo y hongos que actúan como factores desencadenantes de las crisis. Este es el caso de Quintana Roo. Para el mismo caso las personas mayores de 65 años y más, presentan una morbilidad por asma, en Quintana Roo, muy alta a un nivel nacional. La población de la tercera edad con asma es considerada como una de las más vulnerables a los contaminantes ambientales que desencadenan las crisis, y debilidad del sistema inmunológico.

En Quintana Roo, en el año 2002, el Centro Nacional de Salud de la Infancia y Adolescencia, registro en Quintana Roo, la infección respiratoria aguda como la tercera enfermedad en las principales causas de mortalidad infantil. En las principales causas de mortalidad en niños de preescolar, se encuentra como el quinto lugar las infecciones respiratorias agudas y como séptimo lugar bronquitis crónica y la no especificada, enfisema y asma. Y en las principales causas de mortalidad en menores de 5 años las infecciones respiratorias agudas se encuentran en el tercer lugar. (INEGI/SESA).

El estado Chetumal Quintana Roo mantiene la certificación de cobertura universal para servicios médicos otorgado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), lo que significa que toda la población se encuentra atendida por algún tipo de servicio de salud.

El sistema de salud en el municipio es de dos niveles de atención: de seguridad social y de asistencia social. El primero comprende los servicios de IMSS, ISSSTE, Secretaría de Marina (SM) y Secretaría de la Defensa Nacional (SDN). La asistencia social está a cargo principalmente de la Secretaría Estatal de Salud. El Centro

Materno Infantil Morelos (Avenida Juárez #141 Colonia centro); el Hospital General Chetumal Quintana Roo (Andrés Quintana Roo # 399).

De acuerdo con la distribución espacial de estos servicios, encontramos 63 centros de salud rurales, seis urbanos y seis hospitales; además, con inversión de carácter privado, en los últimos años se han instalado en Chetumal 11 clínicas y 48 consultorios.

Existen clínicas con hospitalización y consultorios de medicina general y especialidades del sector privado.

(http://dzibanche.biblos.uqroo.mx/enc_munic_mex/quintanaroo/Mpios/23004a.htm 24 marzo de 1996 10:30 hrs.)

Se tienen registrado datos sobre las enfermedades de incidencias respiratorias en los 2 hospitales, el Hospital Materno Infantil Morelos reporto de enero - marzo del 2006, 450 personas menores de 5 años en incidencia respiratoria aguda; y 347 en urgencias y en hospitalización 13 de enero - febrero 2006, que de enero - abril 2006 se reportaron 39 neumonías; en el 2005 en enfermedades Infecciosas respiratorias hubo 138 casos de los cuales 58 fueron neumonías. (**Hospital Materno Infantil Morelos**).

En el Hospital General Chetumal Quintana Roo, en el 2005, no se registró un alto porcentaje o número de enfermedades infecciosas respiratorias. (**Hospital General Chetumal Quintana Roo**).

Capítulo 7. Método

7.1. Método

Para la realización de este muestro, el método utilizado es conforme a la norma NOM-035-ECOL-1993, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición. (D.O.F. de fecha 18 octubre 1993).

El método de referencia, que se utilizo para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente, es el de muestreo de alto volumen (HI - VOL), mediante el equipo GMW PM₁₀ High Volume Air Sampler.

El monitoreo, fue realizado del 8 al 22 de noviembre del 2005, y del 23 al 28 de enero del 2006.

Se ubico en 3 puntos estratégicos, en la Universidad de Quintan Roo; Edificio Planta Baja Rectoría, Hospital General Chetumal Quintana Roo Sala Hospitalización y Parte de Pediatría, y Hospital Materno Infantil Morelos sala Rayos X.

En este método los pasos a seguir son:

1. Enumerar los filtros y verificar que no estén dañados por orificios u otras imperfecciones.
2. Cada filtro blanco, es pesado con una balanza analítica con presición 0.01 mg. Y después cada unos de estos es puesto a condiciones de humedad "peso constante".

3. Después de haber pesado y puestos a condiciones de humedad los filtros blancos, seguimos por la colocación de cada uno de los filtros al muestreador HI-VOL “Altos Volúmenes”, haciendo el registro de la información que identifique el muestreo (número de filtro, sitio, fecha del muestreo y hora de inicio).
4. Una vez siendo registrada la información, poner el dispositivo o muestreador de control de tiempo para activarlo y detenerlo de modo que funcione 24 horas, una vez transcurrido el tiempo marcado según la NOM-035-ECOL-1993, detener el equipo y quitar cuidadosamente el filtro, tocando únicamente los bordes del filtro, y doblarlo a lo largo, de modo que solamente se toquen entre sí las superficies con partículas colectadas y colocándolo dentro de un sobre de papel manila. , anotando la hora de término y el tiempo transcurrido, en la hoja de registro del filtro, siendo el período de muestreo de 24 horas filtro x día.
5. Por último después de la recolección de la muestra, se pesa el filtro, y se pone a condiciones de humedad llevándolo a la fracción del miligramo más cercano para determinar su ganancia neta de peso, registrando el peso neto del filtro (Gf).
6. Así sucesivamente para cada lugar muestreado.

7.2. Material y Equipo

- Filtro de celulosa, tamaño ($20.3 \pm 0.2 \times 25.4 \pm 0.2$ cm.).
- Bitácora
- Balanza Analítica (0.01 mg.)
- Guantes
- Pinzas
- Muestreador Altos Volúmenes
- Higrómetro
- Estufa
- Sobres de papel Manila
- Desecador

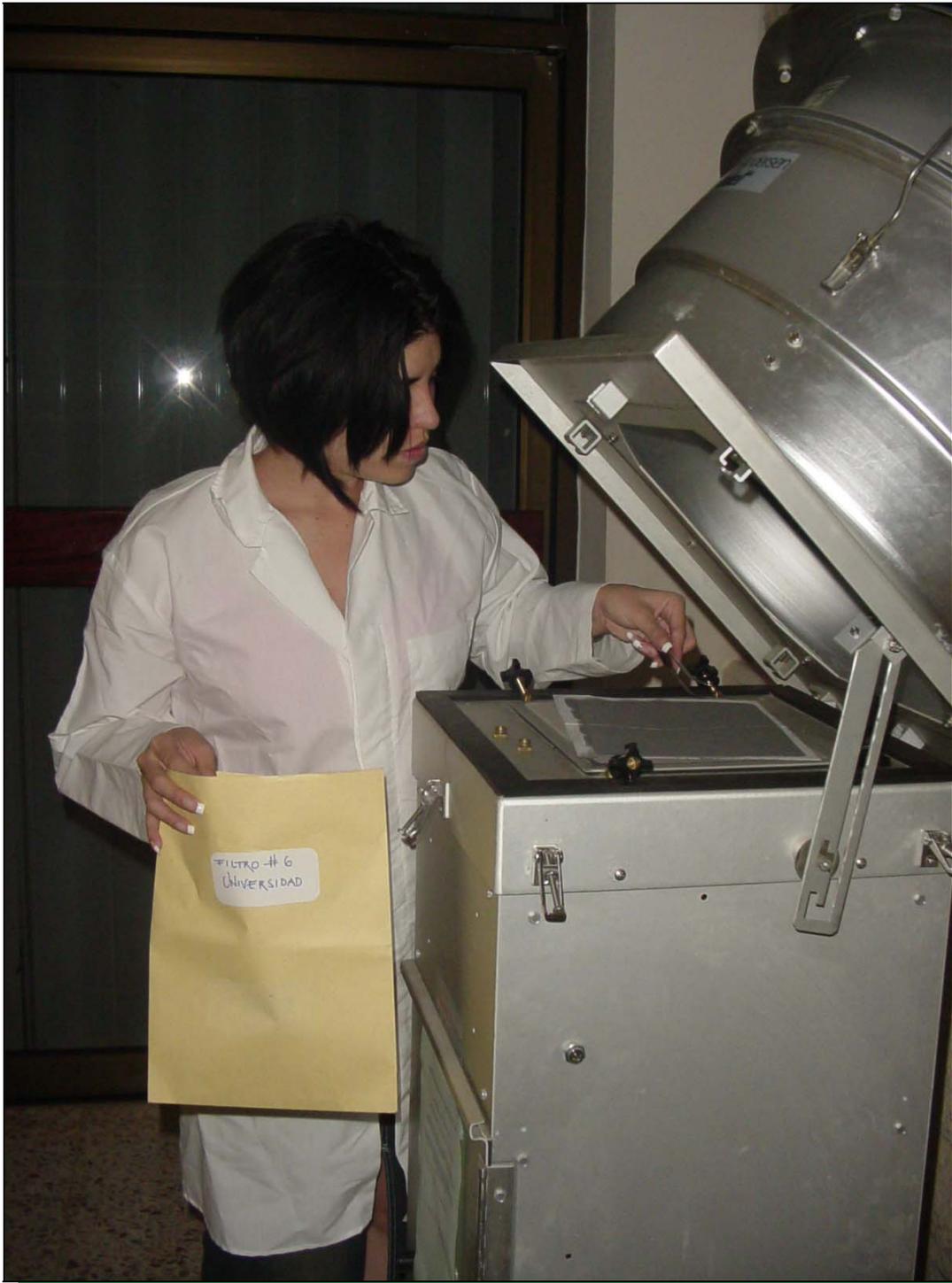


Figura 1. Equipo de PM_{10} en la Universidad de Quintana Roo, edificio rectoría planta baja



Figura 2. Equipo de PM₁₀ en el Hospital General Chetumal Quintana Roo, sala de hospitalización



Figura 3. Equipo de PM₁₀ en el Hospital General Chetumal Quintana Roo, sala de hospitalización

7.3. Ubicación del muestreo

La toma de muestras para evaluar la calidad del aire se llevo a cabo en 3 estaciones para PM₁₀. El Hospital Materno Infantil Morelos (Rayos X), Hospital General Chetumal Quintana Roo (Sala de Hospitalización) y la Universidad de Quintana Roo (Planta baja Rectoría).



Mapa de la ciudad de Chetumal Quintana Roo. Ubicación de los sitios de muestreo en interiores.

Fuente: Centro de Información Geográfica de la Universidad de Quintana Roo



Figura 4. Equipo PM₁₀ en la estación de monitoreo Hospital General Chetumal Quintana Roo, sala de hospitalización



Figura 5. Equipo de PM₁₀ en la estación de monitoreo Hospital General Chetumal Quintana Roo, sala de hospitalización



Figura 6. Equipo de PM_{10} en la estación de monitoreo Hospital General Chetumal Quintana Roo, sala de hospitalización.



Figura 7. Equipo de PM_{10} en la estación de monitoreo del Hospital Materno Infantil Morelos, sala de rayos "X".



Figura 8. Equipo de PM₁₀ en la estación de monitoreo de la Universidad de Quintana Roo, edificio de rectoría planta baja.

7.4. Cálculos

Para calcular el Volumen Total de Aire muestreado:

$$V = Q_{ptn}Xt \quad (\text{a})$$

Donde:

V= Volumen total de aire muestreado

Q_{ptn} = Flujo 1.7 m³/min.

Xt= tiempo por un día

*horas = 1,440 minutos

*Se utilizó el máximo de velocidad de flujo en un filtro limpio de 1.7 m³/min., en un periodo de 24 horas.

$$V = (1.7 \text{ m}^3/\text{min.}) (1,440 \text{ minutos})$$

$$V = 2,448 \text{ metros}^3$$

Para calcular y reportar la concentración de partículas es la siguiente ecuación:

$$PM_{10} = \frac{(Gf - Gi) \times 10^6}{V} \quad (\text{b})$$

Donde:

PM₁₀= Concentración de la masa de partículas suspendidas totales en m/m³ptn

Gf = Peso final del filtro expuesto en g.

Gi= Peso inicial del filtro limpio en g.

V= Volumen de aire muestreado en m³.

10⁶= Conversión de g. a Mg.

Capítulo 8. Resultados

Condiciones climáticas durante el muestreo

En esta tabla se muestra todas las condiciones climáticas que se utilizaron para el muestreo de PM₁₀, de noviembre 2005 a enero 2006.

| | Fecha | Temp. | Temp. | Temp. | Nubosidad | Hum. Rel. Prom. % | Precipitación y tipo | Observaciones |
|--|----------------------|---------|--------|----------|---------------|-------------------|----------------------|---|
| | | Máx. °C | Min °C | Prom. °C | | | | |
| Hospital General Chetumal Quintana Roo | 08/11/2005 Martes | 30 | 24 | 27 | Nublado, | 86 | RA 06,0 | |
| | 09/11/2005 Miércoles | 31 | 23 | 27 | Nublado, | 84 | 0 | |
| | 10/11/2005 Jueves | 30 | 24 | 27 | Medio nublado | 87 | 0 | |
| | 11/11/2005 Viernes | 31 | 24 | 28 | Medio nublado | 78 | 0 | |
| | 12/11/2005 Sábado | 29 | 20 | 26 | cerrado | 84 | RA 05,0 | Aire acondicionado no estaba funcionando |
| | 13/11/2005 Domingo | 30 | 22 | 27 | Medio nublado | 78 | 0 | |
| Hospital Materno infantil Morelos | 17/11/2005 Jueves | 30 | 23 | 26 | Nublado, | 83 | RA 01,0 | |
| | 18/11/2005 Viernes | 27 | 21 | 24 | cerrado | 86 | RA 04,0 | Aire acondicionado no estaba funcionando |
| | 19/11/2005 Sábado | 26 | 20 | 23 | cerrado | 91 | DZ 33,0 | |
| | 20/11/2005 Domingo | 29 | 20 | 25 | cerrado | 87 | menos DZ 08,0 | |
| | 21/11/2005 Lunes | 29 | 22 | 25 | Medio nublado | 81 | 0 | |
| | 22/11/2005 Martes | 27 | 17 | 22 | Medio nublado | 75 | 0 | |
| Universidad de Quintana Roo | 23/01/2006 Lunes | 24 | 22 | 23 | cerrado | 92 | menos DZ, DZRA 17,0 | |
| | 24/01/2006 Martes | 25 | 21 | 23 | cerrado | 94 | menos DZ, DZRA 30,0 | |
| | 25/01/2006 Miércoles | 28 | 21 | 24 | cerrado | 84 | DZ 9,0 | |
| | 26/01/2006 Jueves | 25 | 21 | 23 | cerrado | 86 | DZ 2,0 | |
| | 27/01/2006 Viernes | 29 | 19 | 24 | Despejado | 74 | 0 | |
| | 28/01/2006 Sábado | 29 | 21 | 25 | Nublado, | 71 | 3 | Menor circulación de gente, el aire no estaba funcionando |

Siglas: RA LLUVIA, DZ LLOVIZNA, RA - LLUVIA LIGERA Y DZ - LLOVIZNA LIGERA Y DZ - - LLOVIZNA MUY LIGERA.

Fuente: Fuerza Aérea Mexicana, Dirección del Servicio Meteorológico, Elaboro: El capitán 1/º Fuerza Aérea MET.Jefe.O.P.E. y C. Litz Neguib de Guadalupe Medina Córdoba.

Hospital General Chetumal Quintana Roo: Se muestreo los días 8, 9, 10, 11, 12,13 de noviembre del 2005; martes, miércoles, jueves, viernes, sábado y domingo.

Hospital Materno Infantil Morelos: Se muestreo los días 17, 18, 19, 20, 21, 22 de noviembre del 2005; jueves, viernes, sábado, domingo, lunes y martes.

Universidad de Quintana Roo: Se muestreo los días 23, 24, 25, 26, 27, 28, de enero del 2005. Lunes, martes, miércoles, jueves, viernes y sábado.

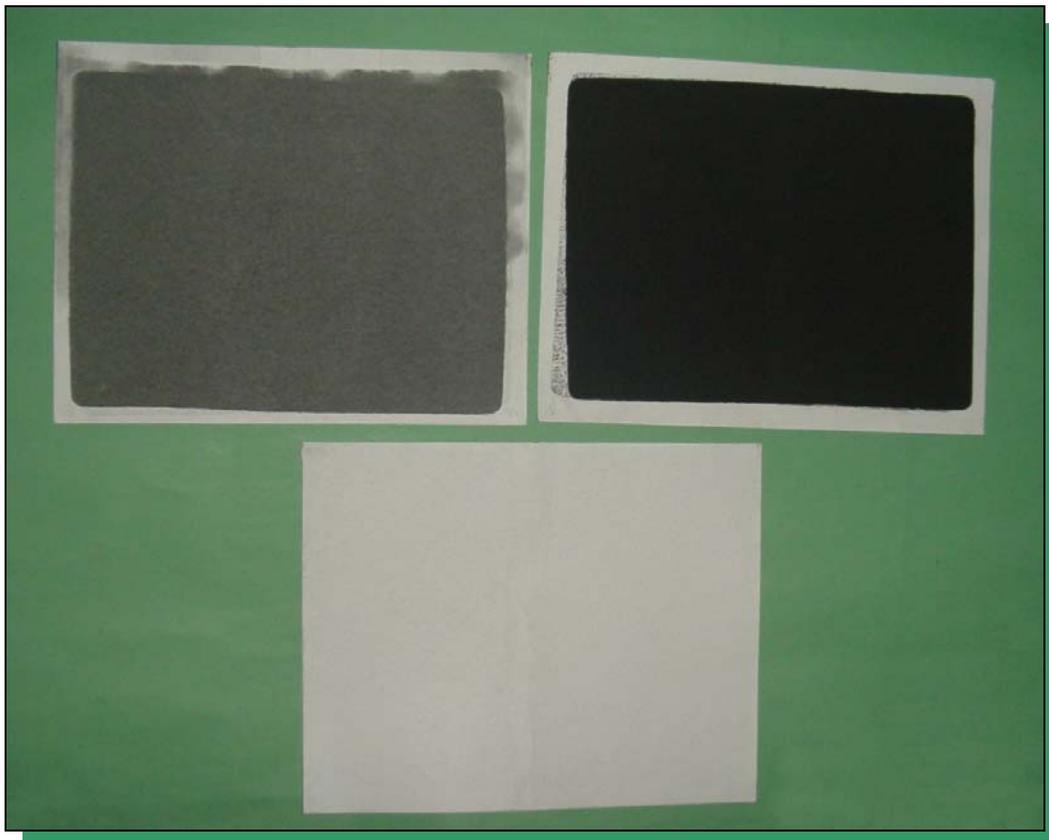


Figura 9. Filtros con concentraciones de PM_{10} y un blanco.

Se observa en la figura 9. Dos imágenes de los filtros de PM_{10} , el primero con la menor concentración, el segundo el de mayor concentración y un tercero que es el blanco.

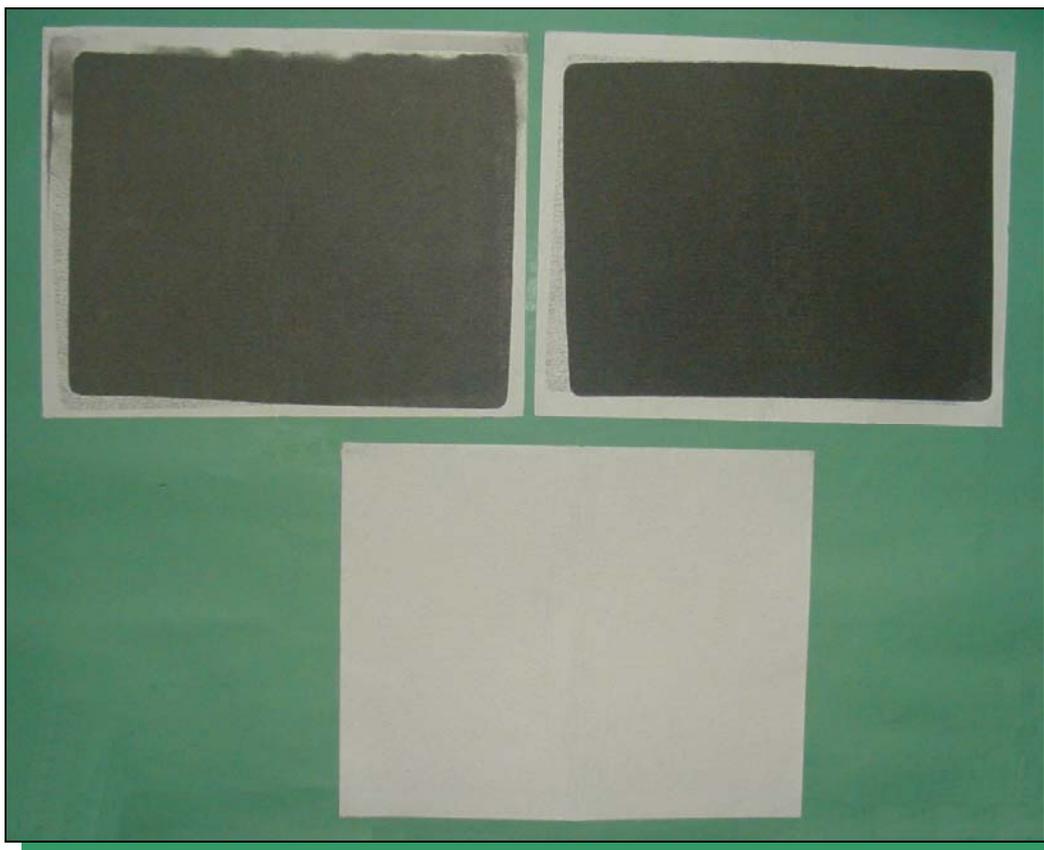


Figura 10. Filtros con concentraciones de PM_{10} en el Hospital General Chetumal Quintana Roo y un blanco

Se observa en la figura 10. Dos imágenes de los filtros de PM_{10} , de la más alta concentración y la más baja del punto muestreo Hospital General Chetumal Quintana Roo y un blanco.

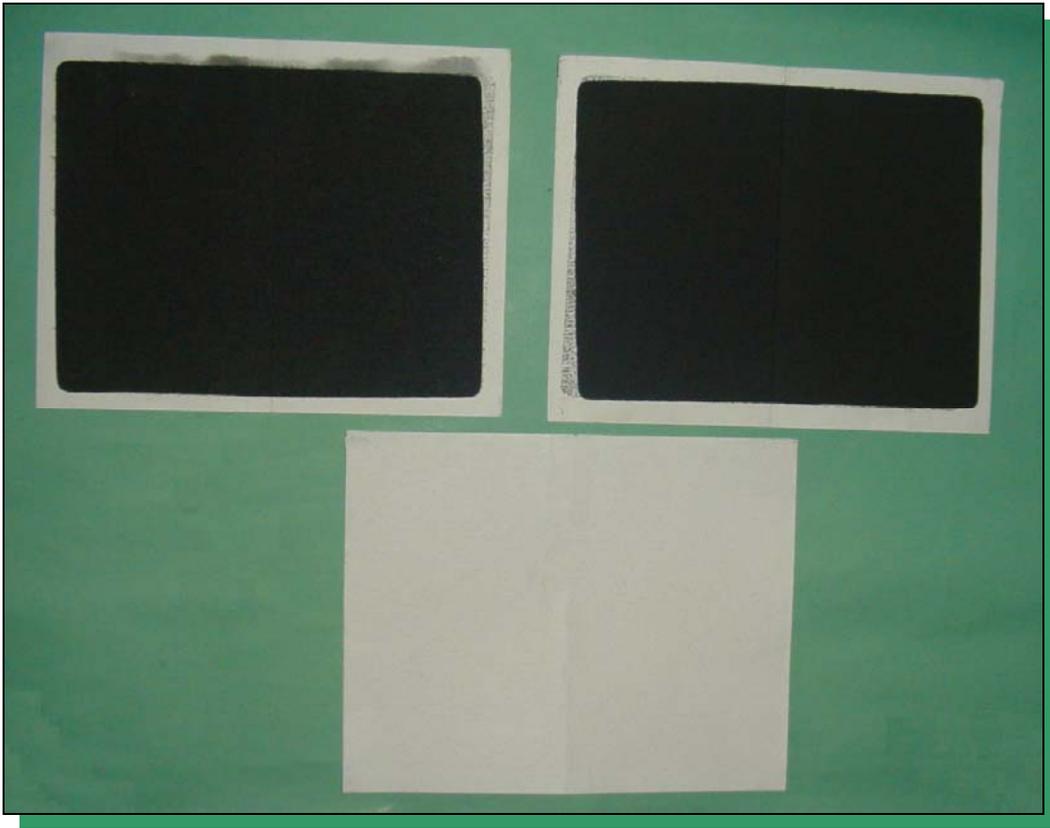


Figura 11. Filtros con concentraciones de PM_{10} en el Hospital Materno Infantil Morelos y un blanco.

Se observa en la figura 11. Dos imágenes de los filtros de PM_{10} , de la más alta concentración y la más baja del punto muestreo Hospital Materno Infantil Morelos y un blanco.

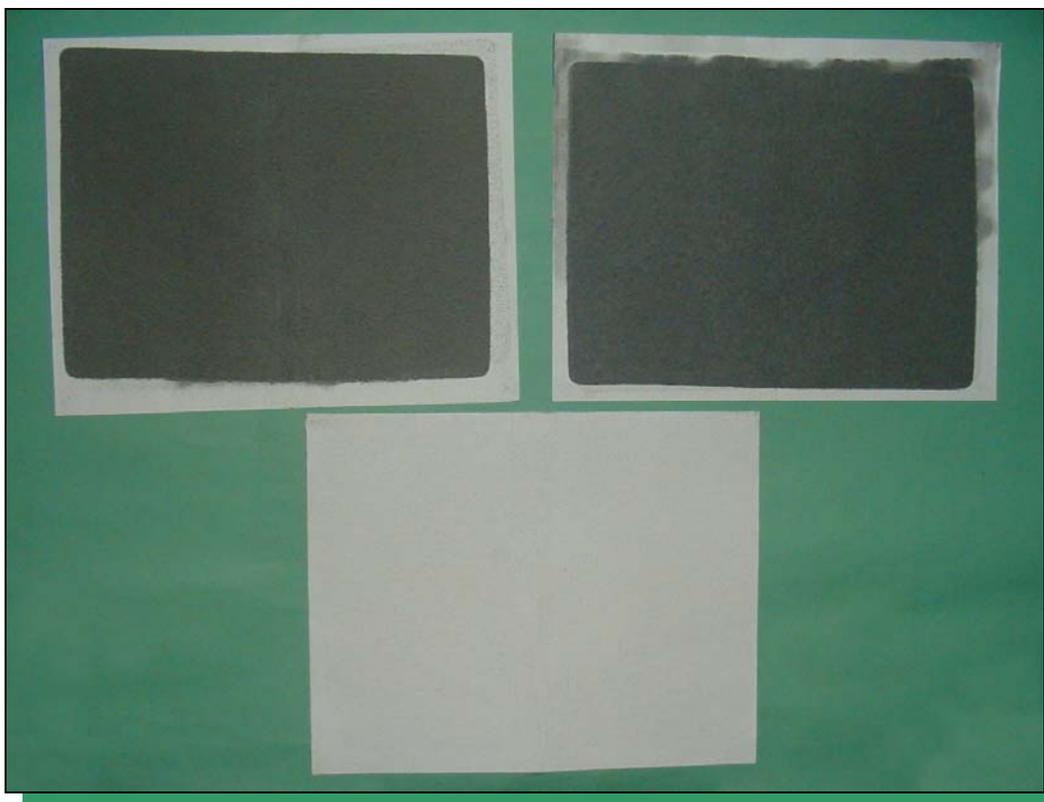


Figura 12. Filtros con concentraciones de PM_{10} en la Universidad de Quintana Roo y un blanco.

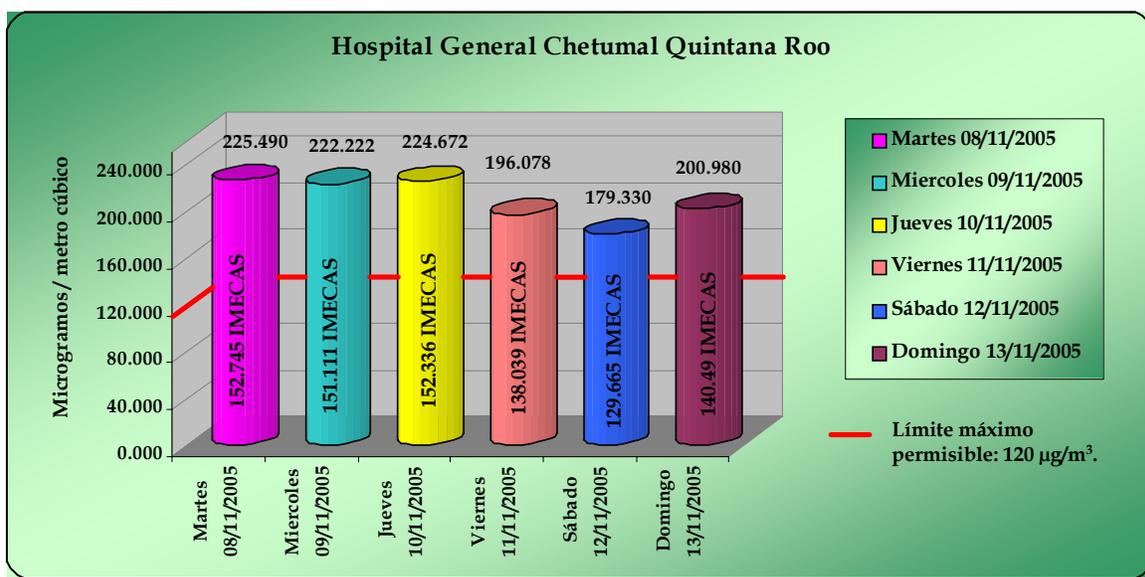
Se observa en la figura 12. Dos imágenes de los filtros de PM_{10} , de la más alta concentración y la más baja del punto muestreo Universidad de Quintana Roo y un blanco.

A).- Hospital General Chetumal Quintana Roo

| Fecha | Concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|-------------------------|---|
| 08/11/2005 Martes | 225.490 |
| 09/11/2005 Miércoles | 222.222 |
| 10/11/2005 Jueves | 224.673 |
| 11/11/2005 Viernes | 196.078 |
| 12/11/2005 Sábado | 179.330 |
| 13/11/2005 Domingo | 200.980 |

Tabla.1 Concentraciones de PM_{10} del Hospital General Chetumal Quintana Roo, expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en exposición a 24 horas.

Su media aritmética: $208.128 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Gráfica 1. Estación de monitoreo Hospital General Chetumal Quintana Roo, sala hospitalización. Concentración de PM_{10} , en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

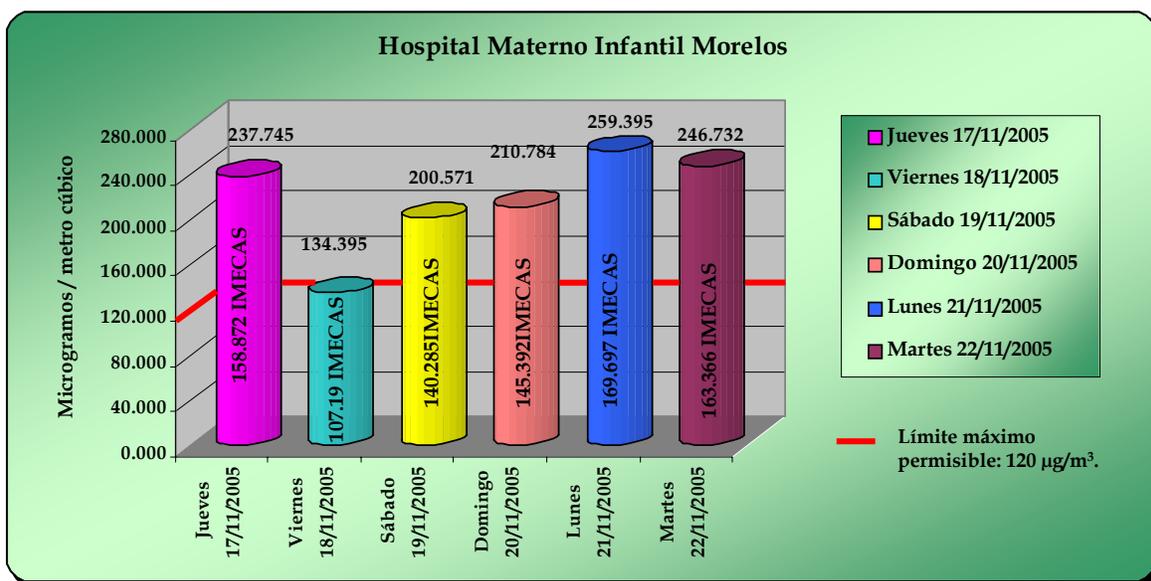
Se puede observar en la gráfica 1, que todas las concentraciones se encontraron por encima de la norma NOM-025-SSA1-1993 siendo la más alta de $225.490 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del día martes y la más baja de $179.330 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del día sábado. Con un Índice Metropolitano de la Calidad del aire promedio 144 "IMECAS" que significa que estamos expuestos a tener efectos a la salud. Los IMECAS, nos ayudan a informar a la población los niveles de contaminación.

B).- Hospital Materno Infantil Morelos

| Fecha | Concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|-----------------------|---|
| 17/11/2005 Jueves | 237.745 |
| 18/11/2005 Viernes | 134.395 |
| 19/11/2005 Sábado | 200.571 |
| 20/11/2005 Domingo | 210.784 |
| 21/11/2005 Lunes | 259.395 |
| 22/11/2005 Martes | 246.732 |

Tabla.2. Concentraciones de PM_{10} del Hospital Materno infantil Morelos expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en exposición a 24 horas.

Su media aritmética: $214.937\mu\text{g}/\text{m}^3$



Gráfica 2. Estación de monitoreo Hospital Materno Infantil Morelos, sala rayos X. Concentración de PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

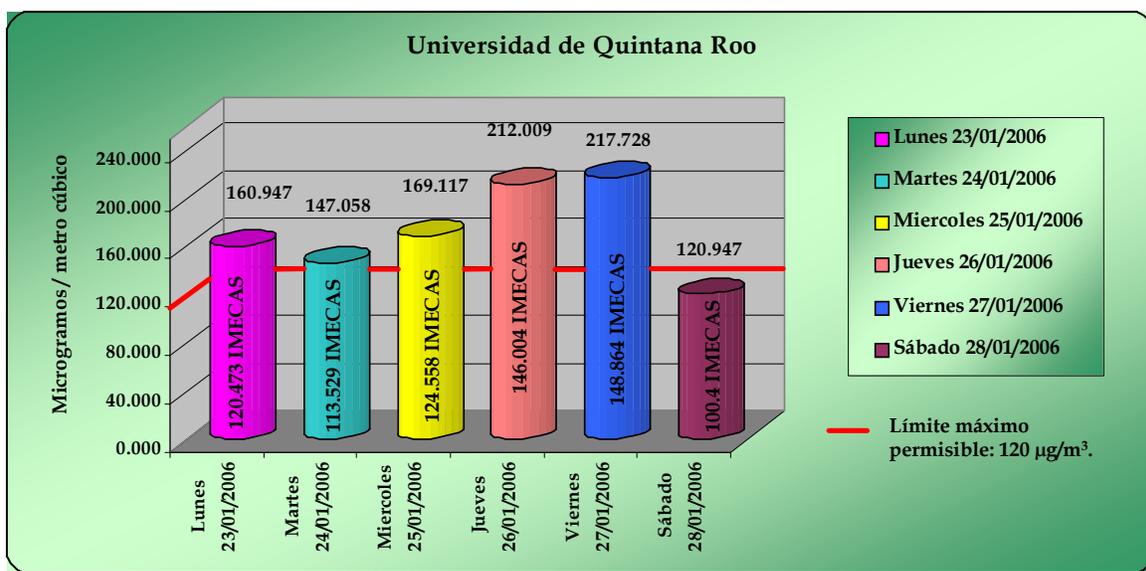
Se puede observar en la gráfica 2, que todas las concentraciones se encontraron por encima de la norma NOM-025-SSA1-1993 siendo la más alta de $259.395 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del día lunes y la más baja de $134.395 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del día viernes. Con un Índice Metropolitano de la Calidad del aire promedio de 147 "IMECAS" que significa que estamos expuestos a tener efectos a la salud. Los IMECAS, nos ayudan a informar a la población los niveles de contaminación.

C).- Universidad de Quintana Roo

| Fecha | Concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|-------------------------|---|
| 23/01/2006 Lunes | 160.947 |
| 24/01/2006 Martes | 147.058 |
| 25/01/2006 Miércoles | 169.117 |
| 26/01/2006 Jueves | 212.009 |
| 27/01/2006 Viernes | 217.728 |
| 28/01/2006 Sábado | 120.947 |

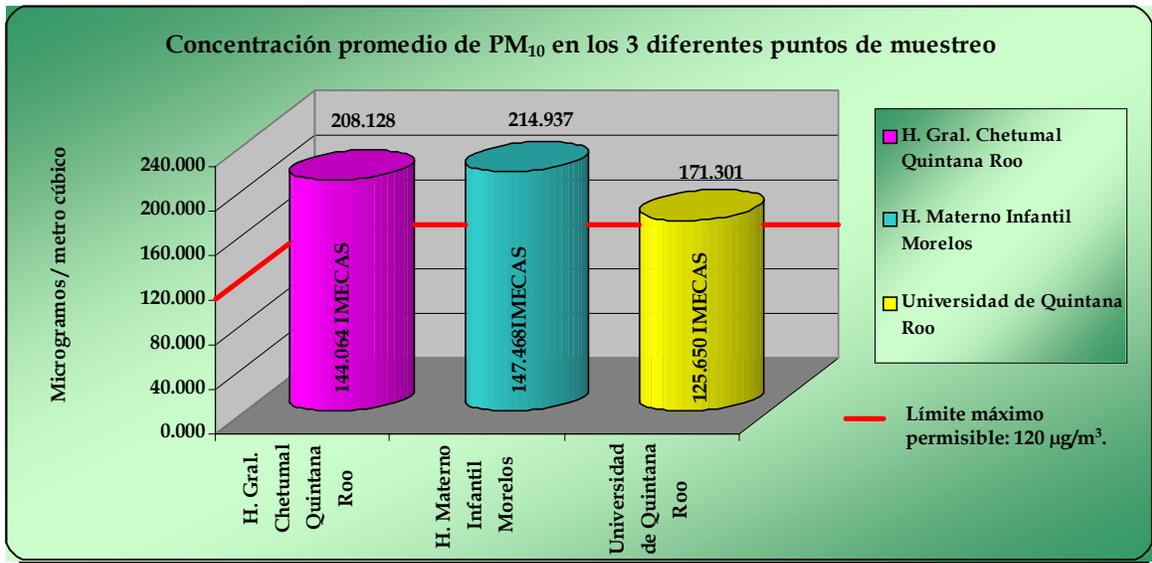
Tabla 3. Concentraciones de PM_{10} de la Universidad de Quintana Roo expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en exposición a 24 horas.

Su media aritmética: $171.301 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Gráfica 3. Estación de monitoreo Universidad de Quintana Roo, edificio planta baja rectoría. Concentración de PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Se puede observar en la gráfica 3, que todas las concentraciones se encontraron por encima de la norma NOM-025-SSA1-1993 siendo la más alta de $217.728 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del día viernes y la más baja de $120.947 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del día sábado. Con un Índice Metropolitano de la Calidad del aire promedio de 125 "IMECAS" que significa que estamos expuestos a tener efectos a la salud. Los IMECAS, nos ayudan a informar a la población los niveles de contaminación.



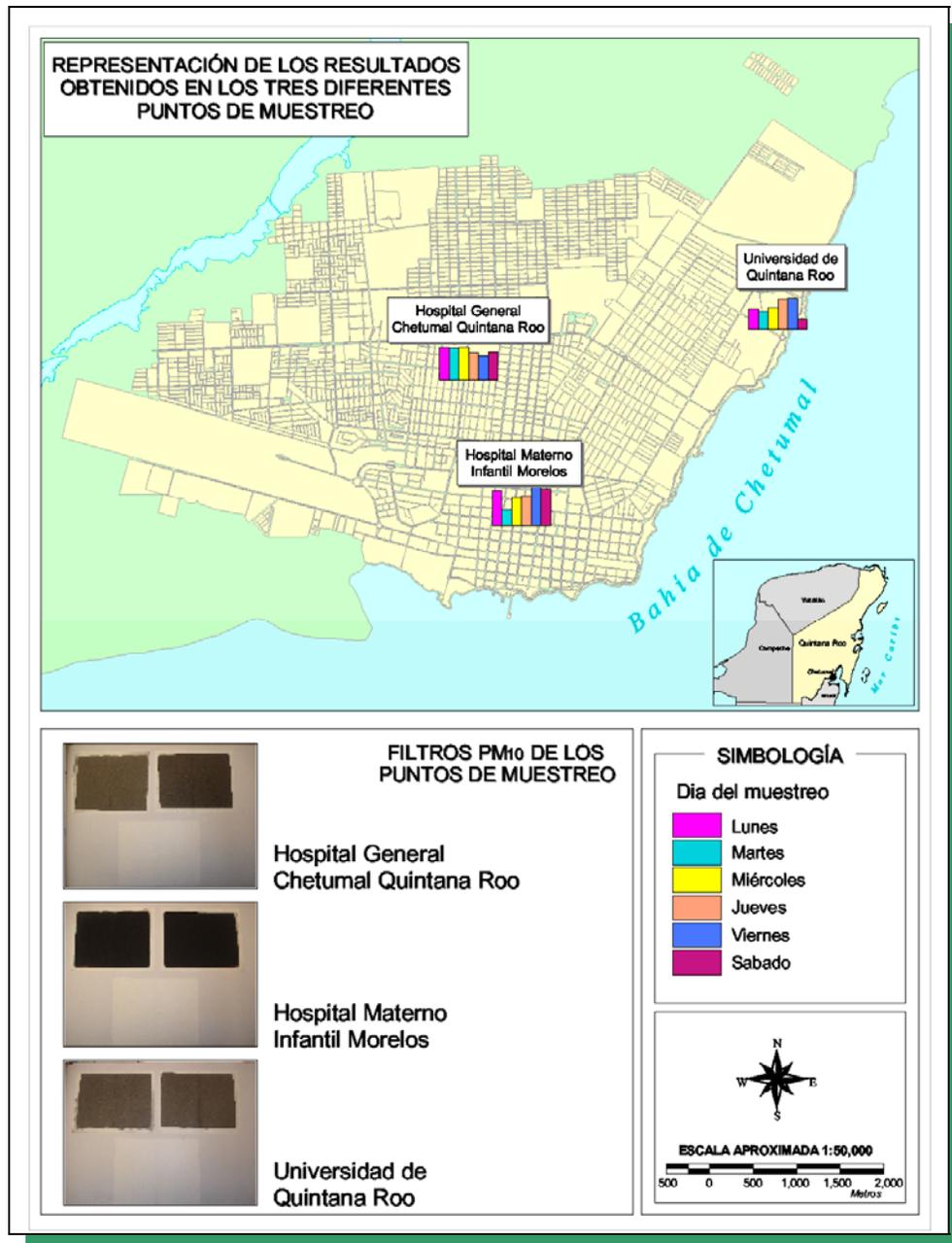
Gráfica 4. Concentraciones totales de PM₁₀ de los tres monitoreos atmosféricos en interiores.

En esta gráfica, se observa que los tres lugares muestreados el que representó mayor concentración de PM₁₀ fue el Hospital Materno Infantil Morelos y el de menor concentración pero aún rebasando los límites máximos permisibles fue la Universidad de Quintana Roo.

Este trabajo consistió en el monitoreo de 3 diferentes lugares, localizados: Hospital General sala de hospitalización, el Hospital Materno Infantil Morelos sala de rayos “x” y en la Universidad de Quintana Roo edificio de rectoría planta baja. Los cuales fueron realizados de noviembre 2005 a enero 2006 durante 6 días conforme a la NOM-035-ECOL-1993.

Como puede observarse, los resultados que se obtuvieron en los tres sitios muestreados se encuentran por encima de la norma vigente NOM-025-SSA1-1993 que establece los 120 µg/m³ una vez al año, sin embargo en la exposición crónica en promedio aritmético anual no debe rebasar los 50 µg/m³ para proteger a la salud de la población susceptible.

Hay que indicar que cada uno de estos sitios cuenta con sistemas de ventilación o sistemas de aire acondicionado diferente, el Hospital General Chetumal Quintana Roo cuenta con un sistema de ventana y split, El Hospital Materno Infantil Morelos con un sistema central y ventana, la Universidad de Quintana Roo centrales y split; parte fundamental para la realización del trabajo.



Capítulo 9. Conclusiones

- Se determinó que el nivel de PM_{10} en Interiores en los 3 los tres lugares muestreados de la ciudad Chetumal Quintana Roo, presentaron niveles por encima del límite máximo permisible de la NOM-025-SSA1-1993 que es de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ publicada por el D.O.F. el 26 de septiembre del 2005; siendo este perjudicial a la salud, exacerbando enfermedades o bien, provocándolas.
- De los tres lugares muestreados, el Hospital Materno Infantil Morelos presentó el valor más alto en concentración de PM_{10} , siendo de $259.395 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que rebasa en un 116% (equivalente $139.395 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a lo establecido por la NOM-025-SSA1-1993.
- De los tres lugares muestreados, la Universidad de Quintana Roo, presentó la más baja concentración de PM_{10} con $120.947 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que representa poco menos del 1% (0.789%) sobre la NOM-025-SSA1-1993.
- Los resultados obtenidos en el Hospital General Chetumal Quintana Roo grafica 1., se puede observar que el día 12 de noviembre del 2005 presentó la concentración más baja de $179.330 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que rebasa el 49 % del límite máximo permisible por la NOM-035-SSA1-1993. Con un promedio aritmético de $208.128 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por los 6 días muestreados.
- Los resultados obtenidos en el Hospital Materno Infantil Morelos gráfica 2., representa las concentraciones de la estación monitoreada con la mayor concentración de los tres puntos muestreados siendo la más alta con $259.395 \mu\text{g}/\text{m}^3$, rebasando un 116% que sobrepasa el Estándar Nacional de Calidad del Aire para el PM_{10} que es $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En este mismo punto de nuestro más baja fue del día 18 de noviembre del 2005 con $134.395 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que

rebase en un 12% a lo establecido por la norma, con un promedio aritmético de 214.937 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por los 6 días muestreados.

- Los resultados obtenidos en la Universidad de Quintana Roo gráfica 3., se observa que el día 28 de enero del 2006, se obtuvo el valor con menor concentración de PM₁₀ con 120.947 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, un poco menos del 1% (0.789%). Con un promedio aritmético de 171.301 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por los seis días muestreados.
- La gráfica 4. representa la media aritmética de cada uno de los sitios muestreados, que se observa que los 3 han sido rebasados el nivel máximo permisible de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ una vez al año por 24 horas.
- Otro punto es que el análisis realizado no tiene una temporada específica y fue un monitoreo puntual de cada sitio haciendo una determinación de concentración de partículas, para tener un panorama general en los sitios muestreados del nivel en PM₁₀, poniendo más atención en las personas que laboramos o habitamos dichos lugares.
- Cabe mencionar que en los 3 lugares muestreados no se les da mantenimiento preventivo, solo se manejan mantenimiento correctivo, y no hay una programación de cambio.

Capítulo 10. Recomendaciones

- Actualizar los sistemas de aires acondicionados ya que estas están diseñados para la disminución y minimización de impacto ambiental.
- Aplicación o programación de mantenimiento preventivo y predictivo; ya que ayuda a la remoción de bacterias para evitar infecciones, reducción de síntomas de alergia, ayuda a la ductería del aire acondicionado que acumule monos polvo y sea menos propicia a fomentar el crecimiento de hongos y bacterias.
- Realizar análisis bacteriológicos para poder identificar el tipo de bacterias u hongos y así poder combatir las enfermedades o bien, siendo que tipo de virus, hongo, bacteria sabrá uno que enfermedad produce.
- Más estudios para refutar los resultados obtenidos.
- Investigar sistemas de control de partículas, como equipos auxiliares para lograr alcanzar la norma de Calidad de Aire en Partículas.

Referencia Citada y Consultada

1. Allen E. 1982. "Como funciona un edificio". Editorial Gustavo Pili, Barcelona.
2. Boixarea. 1970. Manual de Aire Acondicionado. Maecombo, S.A., Barcelona.
3. Boubel W. R. / Fox L. D. / Turner D. B. / Stern C. A. 1994. Fundamentals of Air Pollution. Academic Press. Third edition.
4. Brauer M. / Barlett / Regalado J. / Pérez P. R. 1996. Assessment of Particulate Concentrations from Domestic Biomass Combustions in Rural México. Environmental Science Technology, Vol. 30, Canadá.
5. Bravo A. H. 1987. La contaminación del aire en México. México, Universo Veintiuno (Colección del Medio Ambiente).
6. Bueno M. 1998. El Gran Libro de la Casa Sana. Ediciones Martínez Roca, S.A., Barcelona, España.
7. Colls J. 1997. Air Pollution/ An Introduction. E & FN SPON.
8. Córdova M. N. L. Fuerza Aérea Mexicana, Dirección del Servicio Meteorológico de Chetumal Quintana Roo.
9. De la Vega R. J. A. 1986 diciembre 3. Hiperactividad Bronquial. Allergol Immunopathol.
10. Elía D. E. 1999. Acondicionamiento en Hospitales.
11. Mackenzie L. D. / Masten J. S. 2005. Ingeniería y Ciencias Ambientales. Editorial Mc Graw Hill.
12. Moreno R. M. 1998. Artículo 15. Confort Térmico. 30 de septiembre.
13. NOM-035.ECOL-1993. Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire

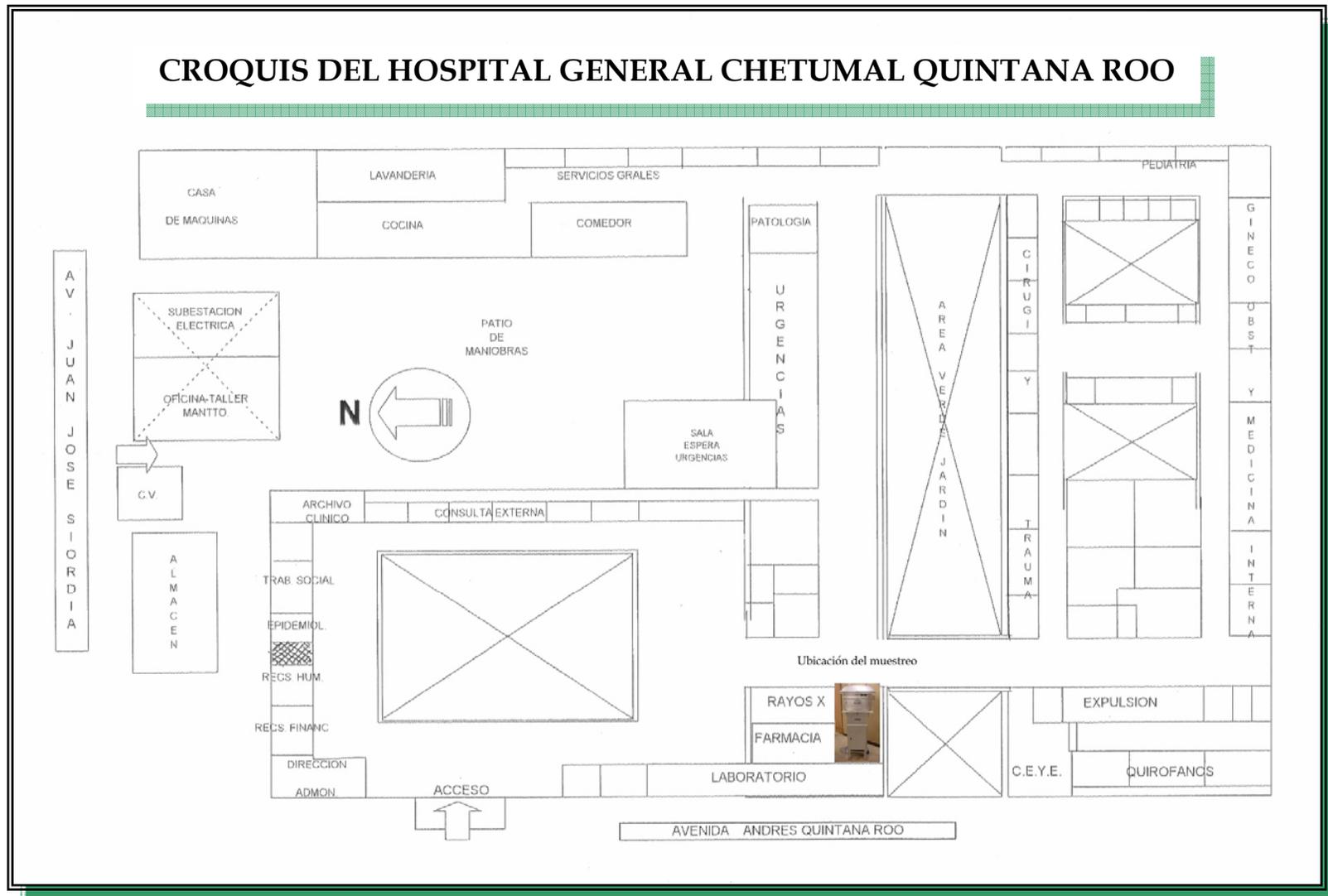
- ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición. Publicada en el Diario Oficial de la Federación 18 de Octubre de 1993.
14. NOM-O25-SSA1-1993. Salud ambiental. Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a material particulado. Valor de concentración máxima de material particulado para partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM_{10} y partículas menores de 2.5 micrómetros $PM_{2.5}$ en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población. Modificación Publicada en el Diario Oficial de la Federación 16 de octubre del 2002 y modificada 26 de septiembre del 2005.
 15. Pérez P. J. R. 2001. La Inhalación doméstica del Humo de leña y otros materiales biológicos: Un riesgo para el desarrollo de enfermedades respiratorias.
 16. Pita G. E. 2002. Acondicionamiento de Aire. Principios y Sistemas. Séptima Reimpresión México. pp. 341-349. Compañía Editorial Continental.
 17. Proyecto de Norma Ambiental para el Distrito Federal PROY-NADF-009-AIRE-2006, que establece los requisitos para elaborar el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire. Publicada el 19 julio del 2006 por la Gaceta Oficial del Distrito Federal.
 18. Ramírez F. C. 2006 Septiembre. Artículo Central, Confort Térmico. Revista BIT.
 19. Revista ESTE PAÍS. Tendencias y Opiniones. Enero, 1994.
 20. Revista ESTE PAÍS. Tendencias y Opiniones. Febrero, 1994.
 21. Schmelkes C. 2000. Manual para la Presentación de Anteproyectos e Informes de Investigación (Tesis). Editorial OXFORD. 2ª Edición.
 22. Spedding D. J. 1981. Contaminación Atmosférica. Editorial reverté, S.A.
 23. Tyler G. M. 2002. Environmental Science. Ed. brooks/Cole ninth edition / 9TH.
 24. Wadden A. R. / Scheff A. P. 1987. Contaminación del Aire en Interiores. Editorial Limusa.

25. Wark K. / Warner F. C. 1992. Contaminación del aire /origen y control. Editorial Noriega/limusa versión española.
26. Warner O. P. 1980. Análisis de los Contaminantes del Aire. Editorial PARANINFO, S.A., Madrid (España).
27. Yañez E. 1986. Hospitales de Seguridad Social. Editorial Limusa, México.

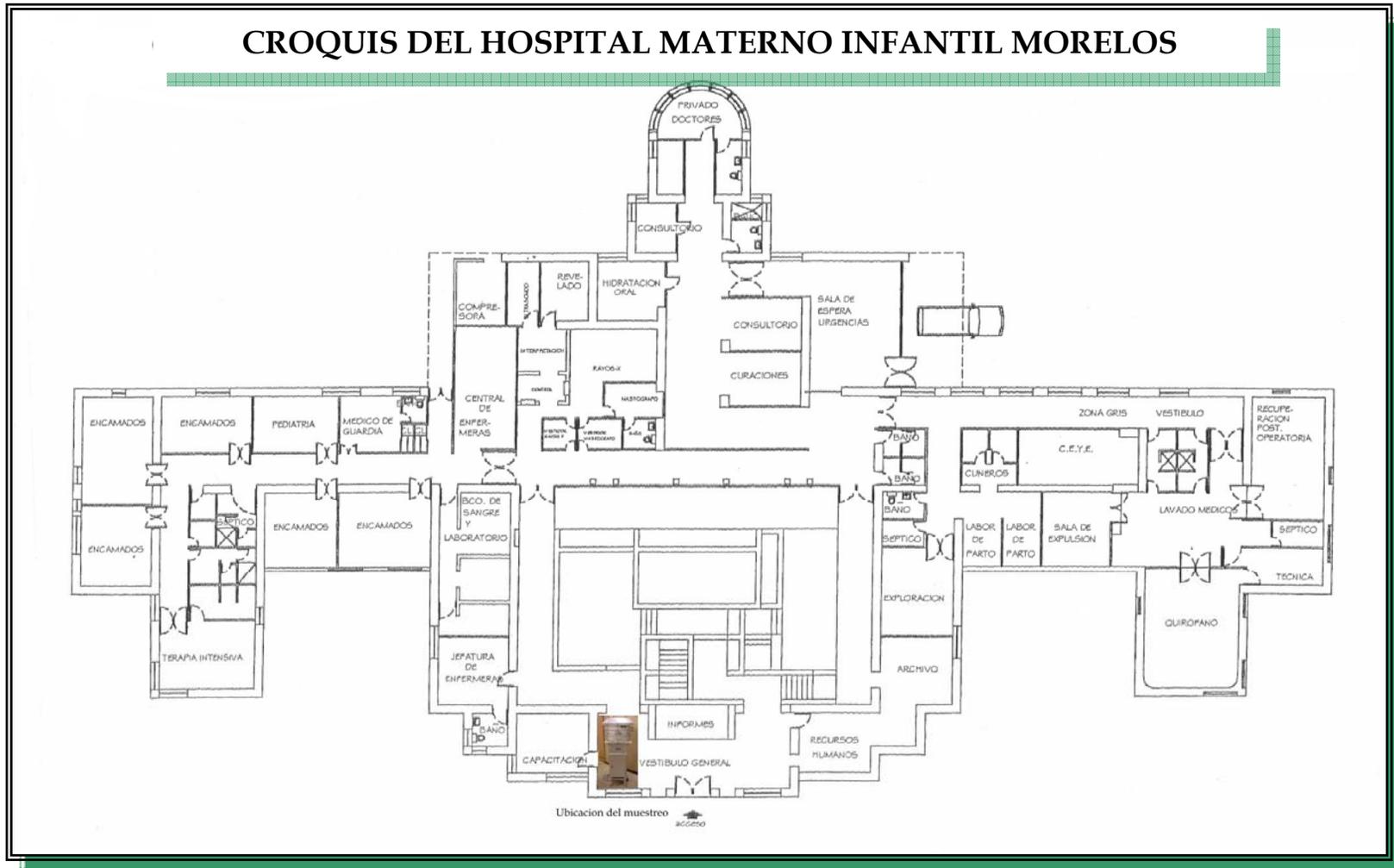
Webgrafía

1. <http://www.fisicaysociedad.es/view/default.asp?cat=270>. 15 de marzo de 2006. 1:01 hrs.
2. http://dzibanche.biblos.uqroo.mx/enc_munic_mex/quintanaroo/Mpios/23004a.htm 24 marzo de 1996 10:30 hrs.
3. <http://www.pulmon.org/partessr.htm> 14 agosto 2006.1:05 hrs.
4. <http://www.salud.gob.mx> 10 de octubre de 2006. 12:00 hrs.

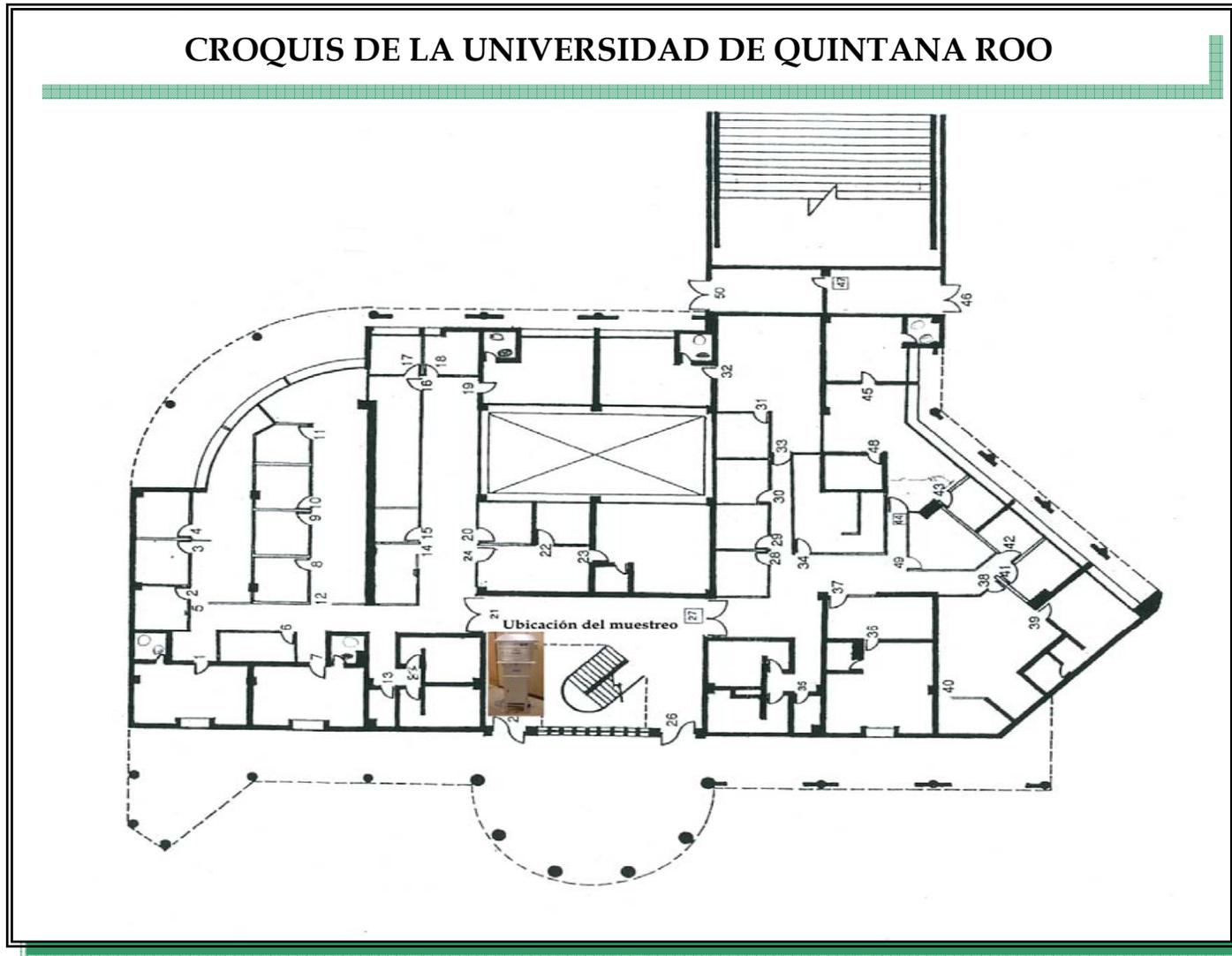
ANEXOS



Anexo 1. Croquis Hospital General Chetumal Quintana Roo, ubicación 1 del monitoreo PM₁₀



Anexo 2. Croquis Hospital Materno Infantil Morelos, ubicación 2 del monitoreo PM₁₀



Anexo 3. Croquis Universidad de Quintana Roo, ubicación 3 del monitoreo PM_{10}

Glosario

A

ALVÉOLO: Pequeña cavidad pulmonar donde se extrae el oxígeno del aire traspasándolo al torrente sanguíneo. Inversamente eliminan el dióxido de carbono (CO₂) de la sangre. Los humanos poseen unos 300 millones de alvéolos.

ATMÓSFERA: Es la mezcla de gases y partículas suspendidas que envuelve la Tierra y que permanece en torno a ella gracias a la atracción gravitacional del planeta.

La atmósfera terrestre es extremadamente delgada en comparación a la dimensión del planeta cuyo radio aproximado es 6400 km. Así, un poco más del 90% de la masa de la atmósfera se concentra en los primeros 20 kms. sobre la superficie. Los principales componentes de la atmósfera son el nitrógeno molecular (78% en volumen) y oxígeno molecular (21% en volumen). El vapor de agua, el dióxido de carbono (CO₂), y otros elementos gaseosos de menor concentración ocupan el 1% restante. Se subdivide en troposfera, estratosfera, mesosfera y termosfera.

C

CAPA DE OZONO: Acumulación de Ozono (O₃) situada entre 10 y 15 kilómetros de altura, formada por la acción de los rayos solares sobre las moléculas de oxígeno (O₂).

Esta zona, que en realidad no es una capa sino un área en que hay mayor presencia de ozono, filtra la mayoría de los rayos ultravioletas que integran el espectro de la luz solar.

Hay elementos que descomponen el ozono de la capa como los clorofluorocarbonos (CFC), usados en refrigeración, aerosoles enlatados y otros

procesos, los que serían responsables del adelgazamiento en todo el planeta de la capa, fenómeno que es más álgido en el Polo Sur.

COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COVs): Son producidos, principalmente, por la evaporación de combustibles líquidos, disolventes y algunos productos químicos orgánicos como esmaltes, pinturas o limpiadores, así como de la combustión incompleta de gasolina y otros combustibles orgánicos y la actividad biológica de ciertas plantas y animales. En la atmósfera, los COVs reaccionan con otros compuestos, en presencia de luz solar, generando Ozono (O_3), algunos de ellos so causantes de los olores.

CONCENTRACIÓN: Corresponde a la proporción de contaminante presente en un medio, generalmente expresada en unidades de masa como micro o nanogramos fraccionando a una unidad de masa mayor como gramos o kilos ($\mu\text{g}/\text{k}$ o ng/g) o a una de volumen como centímetros o metros cúbicos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ o ng/cc). En ocasiones la concentración se expresa directamente en una fracción como Partes por millón (ppm).

El nivel de daño que causa un contaminante depende en buena medida de su nivel de concentración.

CONFORT TÉRMICO: El confort térmico es un concepto subjetivo que expresa el bienestar físico y psicológico del individuo cuando las condiciones de temperatura, humedad y movimiento del aire son favorables a la actividad que desarrolla.

CONTAMINACIÓN: La presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente, de manera que puedan ser nocivos para la salud, seguridad o

bienestar humano, la vida animal o vegetal, o impidan el aprovechamiento normal de un ecosistema.

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: Presencia de contaminantes en la atmósfera, tales como polvo, gases o humo en cantidades y durante períodos de tiempo tales que resultan dañinos para los seres humanos, la vida silvestre y la propiedad. Estos contaminantes pueden ser de origen natural o producidos por el hombre directa o indirectamente.

CONTAMINACIÓN SINÉRGICA: Es la producida por la asociación entre sustancias o energías, que generan un efecto contaminante mayor que el esperado de la adición de los efectos individuales de dichas sustancias o energías, el efecto es mayor al de la simple suma, aún cuando los elementos aisladamente puedan ser inocuos.

CONTAMINANTE: Todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental.

CONTAMINANTE PRIMARIO: Contaminante producido directamente por la actividad humana o la naturaleza.

CONTAMINANTE SECUNDARIO: Contaminante producido a partir de algún(os) contaminante(s) primario(s) y otras sustancias.

D

DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂): Gas producido como por la quema de combustibles fósiles que contienen azufre (S), la fundición de minerales sulfurados y procesos industriales. Es precursor del Material Particulado Secundario formándolo mediante la asociación a pequeñas partículas (aerosoles). En presencia de humedad forma ácido sulfúrico (lluvia ácida). Causa broncoconstricción pudiendo provocar efectos agudos y crónicos en la salud de las personas. Además de efectos en la salud, el dióxido de azufre puede presentar efectos negativos sobre la vegetación, ecosistemas y materiales expuestos a este contaminante.

DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO₂): Es producido directa e indirectamente por la quema de combustibles a altas temperaturas, en el proceso de combustión el nitrógeno se oxida para formar principalmente monóxido de nitrógeno (NO) y en menor proporción dióxido de nitrógeno. El NO se transforma en NO₂ mediante reacciones fotoquímicas. El dióxido de nitrógeno puede combinarse con compuestos orgánicos volátiles en presencia de luz solar para formar Ozono, así como con agua para formar ácido nítrico y nitratos. Esto contribuye a la producción de lluvia ácida y al aumento de los niveles de MP₁₀ y MP_{2,5}. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) reporta que la exposición a dióxido de nitrógeno puede irritar los pulmones y disminuir la resistencia ante infecciones respiratorias, particularmente en individuos con enfermedades respiratorias pre-existentes, tales como asma.

I

INMISIÓN: Transferencia de contaminantes de la atmósfera a un "receptor". Se entiende por inmisión la acción opuesta a la emisión. Aire inmiscible es el aire respirable al nivel de la troposfera.

M

MATERIAL PARTICULADO (MP): Es una mezcla de partículas líquidas, sólidas o líquidas y sólidas suspendidas en el aire que difieren en tamaño, composición y origen.

El tamaño de las partículas suspendidas en la atmósfera varía en más de cuatro órdenes de magnitud, desde unos pocos nanómetros a decenas de micrómetros.

El Material Particulado conviene clasificarlo por sus propiedades aerodinámicas (Diámetro Aerodinámico), dado que éstas son un factor decisivo para el transporte y la remoción de las partículas desde el aire. También, son determinantes para la deposición en el sistema respiratorio y están asociadas con la composición química y las fuentes de esas partículas, cuando se habla del tamaño de una partícula se están hablando de su diámetro aerodinámico.

MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE (PM10): Comprende las partículas de diámetro aerodinámico (d.a.) menor a 10 μm . Representa una mezcla compleja de sustancias orgánicas e inorgánicas. Estas partículas penetran a lo largo de todo el sistema respiratorio hasta los pulmones, produciendo irritaciones e incidiendo en diversas enfermedades. De acuerdo a masa y composición se tienden a dividir en dos grupos principales, MP Grueso, de diámetro mayor a 2,5 μm y menor a 10 μm y MP Fino menor a 2,5 μm en diámetro., existiendo también el denominado MP ultrafino de alrededor de 0,1 μm .

MICROGRAMO (μg): Unidad de masa que corresponde a la millonésima parte de un gramo.

MONÓXIDO DE CARBONO (CO): Esta sustancia es producida por la combustión incompleta de carburantes y ciertos procesos biológicos e industriales. Actúa en la sangre suplantando al oxígeno (O_2) e impidiendo su llegada al cerebro y los músculos incluyendo el corazón.

N

NORMAS DE CALIDAD: Aquellas que establecen límites para elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos, o combinación de ellos en el ambiente, atmósfera por ejemplo.

O

OXIDOS DE NITRÓGENO (NO Y NO₂): También conocidos como NO_x. Son producidos por actividad volcánica, bacteriana, tormentas eléctricas y la combustión a altas temperaturas de combustibles fósiles. Combinados con la luz solar y otros contaminantes forman Ozono (O₃). En presencia de humedad forman ácido nítrico favoreciendo la generación de material particulado fino (PM_{2,5}). Afecta la salud de las personas favoreciendo la aparición de edemas, malfuncionamiento metabólico, daño celular e irritación de mucosas.

OZONO (O₃): Usualmente se llama Ozono a un conjunto de contaminantes secundarios altamente oxidantes (oxidantes fotoquímicos), los cuales se miden a través de su equivalencia con la capacidad oxidante del compuesto químico Ozono (O₃).

Este conjunto de compuestos se produce por la reacción de Monóxido de carbono, Compuestos Orgánicos Volátiles y Óxidos de Nitrógeno en presencia de la luz solar.

Así, los Compuestos Orgánicos Volátiles, el Monóxido de Carbono y los Óxidos de Nitrógeno constituyen precursores en la formación de Ozono. Las características dañinas del ozono en la salud de la población se originan en su gran capacidad oxidante que lo hace reaccionar con toda clase de sustancias orgánicas.

Puede penetrar los tejidos de la región pulmonar pero la dosis máxima de contaminante la reciben las regiones bronquiales y alveolares. Los efectos típicos del ozono en la salud son cambios en la función pulmonar que van precedidos por

irritación de ojos, síntomas del pecho y de las vías respiratorias en poblaciones sensibles. La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que en el caso del ozono, "los problemas de salud de mayor preocupación son: aumento en las admisiones hospitalarias, exacerbación del asma, inflamaciones pulmonares y alteraciones estructurales del pulmón". El ozono puede presentar efectos adicionales a los de salud tales como efectos sobre la vegetación, los ecosistemas y los materiales expuestos a este contaminante.

P

PARTES POR MILLÓN (ppm): Unidad de concentración que corresponde al fraccionamiento de una unidad en un millón.

PARTÍCULAS TOTALES EN SUSPENSIÓN (PTS): Son materiales finamente divididos, presentes (suspendidos) en el aire, sólidos o líquidos de un diámetro igual o inferior a 50 micrómetros (μm). La fracción de PTS de tamaño superior a 10 micrones corresponde a partículas no respirables, depositándose en la parte superior del sistema respiratorio y son limpiadas y expulsadas a través de la formación de mucus, a través de la tos o de la deglución.

S

SINERGICO: La sinergia es la integración de elementos que da como resultado algo más grande que la simple suma de éstos, es decir, cuando dos o más elementos se unen sinérgicamente crean un resultado que aprovecha y maximiza las cualidades de cada uno de los elementos.

Podemos decir que la palabra sinergia proviene del griego y su traducción literal sería la de cooperación; no obstante (según la Real Academia Española) se refiere a la acción de dos (o más) causas cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales.